



TUGAS AKHIR - TF 141581

**PENGARUH KOMPOSISI *DISPERSANT* PEG6000
DAN TiO_2 TERHADAP KEMAMPUAN
SELF CLEANING CAT TEMBOK BATU GAMPING**

NUR FADHILAH
NRP. 2412 100 097

Dosen Pembimbing
Dyah Sawitri, ST., MT.
Ir. Zulkifli, MSc

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT TF0141581

INFLUENCE OF PEG6000 DISPERSANT AND TiO_2 COMPOSITION TO SELF CLEANING ABILITY OF LIMESTONE WALL PAINT

NUR FADHILAH
NRP. 2412 100 097

Supervisor
Dyah Sawitri, ST., MT.
Ir. Zulkifli, MSc

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016


**PENGARUH KOMPOSISI *DISPERSANT* PEG6000 DAN TiO_2
TERHADAP KEMAMPUAN *SELF CLEANING*
CAT TEMBOK BATU GAMPING**

TUGAS AKHIR

Oleh :
Nur Fadhilah
NRP : 2412 100 097

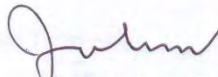
Surabaya, 14 Januari 2016
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I,



Dyah Sawitri, S.T, M.T.
NIP. 19700101 199512 2 001

Pembimbing II,



Ir. Zulkifli, MSc.
NIP. 19581118 198701 1 001



Agus Muhammad Hatta, ST, MSi, Ph.D
NIP. 19780902 200312 1 002

**PENGARUH KOMPOSISI *DISPERSANT* PEG6000 DAN TiO_2
TERHADAP KEMAMPUAN *SELF CLEANING*
CAT TEMBOK BATU GAMPING**

TUGAS AKHIR


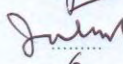

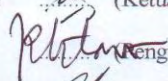

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Bahan
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Nur Fadhilah

NRP. 2412 100 097

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1. Dyah Sawitri, S.T, M.T. |  (Pembimbing I) |
| 2. Ir. Zulkifli, MSc |  (Pembimbing II) |
| 3. Lizda Johar Mawarani, ST, MT |  (Ketua Penguji) |
| 4. Dr.Ridho Hantoro, ST, MT |  (Penguji II) |
| 5. Arief Abdurrahman ST, MT |  (Penguji III) |

SURABAYA

14 Januari 2016

PENGARUH KOMPOSISI *DISPERSANT* PEG6000 DAN TiO₂ TERHADAP KEMAMPUAN *SELF CLEANING* CAT TEMBOK BATU GAMPING

Nama Mahasiswa : Nur Fadhilah
NRP : 2412 100 097
Jurusan : Teknik Fisika
Dosen Pembimbing : Dyah Sawitri, ST, MT
Ir. Zulkifli, MSc

Abstrak

Telah dilakukan penambahan TiO₂ dan *dispersant* PEG6000 pada cat tembok batu gamping untuk meningkatkan kemampuan *self cleaning* cat. Metode yang digunakan adalah pembuatan TiO₂ dengan prekursor TiCl₃, uji XRD, suspensi TiO₂/PEG, uji FTIR, pencampuran pada cat, uji sudut kontak dan *self cleaning*, uji AFM serta analisa citra menggunakan *software imageJ*. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dengan adanya penambahan TiO₂ dan *dispersant* PEG6000 cukup signifikan untuk meningkatkan kemampuan *self cleaning* cat tembok batu gamping. Kemampuan *self cleaning* tertinggi untuk semua kondisi penyinaran proses fotokatalisis diperoleh pada sampel dengan komposisi TiO₂ dan PEG sebesar 1 : 6. Dengan nilai yang diperoleh yaitu sudut kontak terkecil 7⁰, persentase luas pengotor yang hilang tertinggi 83,11% dan laju degradasi pengotor terbesar 0,0257cm²/menit. Sampel dengan komposisi TiO₂ dan PEG sebesar 1: 6 memiliki distribusi TiO₂ lebih merata dengan luas rata-rata partikel adalah 75,81 μm², dan luas seluruh partikel TiO₂ yaitu 2544 μm² dengan persentase 63,6%.

Kata kunci: TiO₂, PEG, batu gamping, *self cleaning*

INFLUENCE OF PEG6000 DISPERSANT AND TiO₂ COMPOSITION TO SELF CLEANING ABILITY OF LIMESTONE WALL PAINT

Name : Nur Fadhilah
NRP : 2412 100 097
Department : Engineering Physics
Supervisor : Dyah Sawitri, ST, MT
Ir. Zulkifli, MSc

Abstract

The addition of TiO₂ and dispersant PEG6000 in the paint limestone is to increase the self-cleaning paint proficiency level. The method used is the manufacture of TiO₂ with TiCl₃ precursors, XRD test, suspension TiO₂ / PEG, FTIR test, mixing of paint, the contact angle test and self-cleaning, AFM test and image analysis using ImageJ software. Based on the results of tests that have been conducted, with the addition of TiO₂ and dispersant PEG6000, it is enough to improve the ability of self-cleaning paint the walls of limestone. The highest self-cleaning capability for all illumination conditions of the photocatalyst obtained on the sample with a composition of TiO₂ and a PEG of 1: 6. With the value obtained by the smallest contact angle of 70, the percentage of residual impurities 16.566% smallest and largest contaminant degradation rate 0.0257 cm² / min. Sample with a composition of TiO₂ and a PEG of 1: 6 have more spread of distribution TiO₂ with particle average wide 75.81 μm² , all wide TiO₂ is 2544 μm² by percentage 63.6%.

Keyword: TiO₂, PEG, limestone, self cleaning

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur Alhamdulillah senantiasa terpanjatkan kepada Allah SWT karena atas anugerah, petunjuk dan karunia-Nya serta shalawat dan salam kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, atas terselesaikannya tugas akhir dengan judul:

” Pengaruh Komposisi *Dispersant* Peg6000 Dan TiO_2 Terhadap Kemampuan *Self Cleaning* Cat Tembok Batu Gamping”

Berbagai motivasi dan bantuan diterima penulis selama penyelesain Tugas Akhir ini. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih terutama kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS.
2. Kedua orang tua penulis, Djaelani dan Kisrawiyah, serta Aba Taha dan Umi Hanifah atas do'a dan dukungannya selama ini.
3. Dyah Sawitri, ST, MT atas bimbingannya selama pengerjaan tugas akhir ini kepada penulis.
4. Ir.Zulkifli Abdullah, M.Sc selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Bahan.
5. Seluruh dosen Rekayasa Bahan yang telah memberikan materi dan bimbingan untuk menunjang tugas akhir,
6. Seluruh dosen Teknik Fisika – ITS yang telah menjadi media transfer ilmu sehingga kami dapat merampungkan jenjang perkuliahan hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
7. Seluruh staf pegawai Jurusan Teknik Fisika atas semua bentuk kerjasamanya selama masa kuliah.

8. Mas Maktum Muharja atas doa dan dukungannya, serta kepada teman-teman Laboratorium Biokim atas fasilitas yang telah diberikan.
9. Saudara-saudara tersayang (Mas Rerep, Abang Adi, Mbak Sintia, Mas Kiki) yang telah mendukung, mendoakan dan memberi semangat kepada penulis.
10. Teman seperjuangan TA (Mbak Ratna, Yuda, Niki) dan teman seperjuangan Laboratorium Rekayasa Bahan.
11. Rekan-rekan F47 Teknik Fisika ITS, yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian,
12. Rekan – rekan Asrama Mutiara dan kos Ful Barakah atas segala bantuan dan perhatiannya
13. Dan semua pihak yang turut memperlancar kegiatan Tugas Akhir ini yang tentunya tidak bisa disebutkan semuanya.

Dalam laporan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharap saran dan kritik untuk kesempurnaan laporan ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pihak yang membaca dan mempelajarinya.

Surabaya, 14 Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Batu Gamping	5
2.2 <i>Titanium Dioxide</i> TiO ₂	6
2.3 <i>Dispersant / Surfaktant</i>	8
2.4 Polietilen Glikol (PEG)	9
2.5 Fotokatalis TiO ₂	9
2.6 Hidrofilitas	12
2.7 Aplikasi TiO ₂ sebagai <i>Self Cleaning Coating</i>	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Sintesis Nanokristal TiO ₂	18
3.2 Pencampuran TiO ₂ /PEG pada Cat	20
3.3 Pengujian XRD TiO ₂	21
3.4 Pengujian FTIR Suspensi TiO ₂ /PEG	22
3.5 Pengujian <i>Self Cleaning</i>	23
3.6 Pengujian Dispersi TiO ₂ dengan AFM	25
3.7 Pengolahan Gambar dengan <i>Software ImageJ</i>	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Pengujian XRD TiO ₂	27
4.2 Pengujian FTIR	29

4.3 Pengujian Sudut Kontak	30
4.4 Pengujian <i>Self Cleaning</i> dan Dispersi TiO ₂	31
4.5 Pembahasan	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	
LAMPIRAN C	
LAMPIRAN D	
BIOGRAFI PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1	Nanokristal TiO ₂ (a) anatase, (b) rutile, (c) brookite 7
Gambar 2.2	Proses fotokatalisis TiO ₂ (Benedix, 2000) 10
Gambar 2.3	Degradasi senyawa organik oleh proses fotokatalisis TiO ₂ (Schiavello, 1997) 11
Gambar 2.4	Proses <i>self cleaning</i> permukaan TiO ₂ pada dinding luar (Schiavello, 1997) 14
Gambar 3.1	Skema diagram alir penelitian 18
Gambar 3.2	Skema penyemprotan sampel pada pengujian <i>self cleaning</i> 24
Gambar 4.1	Hasil uji XRD TiO ₂ fase anatase 27
Gambar 4.2	Hasil uji XRD TiO ₂ fase rutile 28
Gambar 4.3	Hasil uji FTIR TiO ₂ /PEG 6000 30
Gambar 4.4	Hasil pengukuran sudut kontak pada permukaan cat 31
Gambar 4.5	Kondisi sampel setelah disemprot pasca penjemuran di bawah sinar matahari .(a) Sebelum dijemur, (b) Setelah dijemur selama 1 hari,(c) Setelah dijemur selama 2 hari,(d) Setelah dijemur selama 3 hari,(f) Setelah dijemur selama 4 hari 32
Gambar 4.6	Pengaruh waktu penjemuran terhadap persentase luas pengotor yang terdegradasi di bawah sinar matahari 33
Gambar 4.7	Kondisi sampel setelah disemprot pasca penjemuran dibawah lampu UV (a) Sebelum dijemur, (b) Setelah dijemur selama 1 hari, (c) Setelah dijemur selama 2 hari, (d) Setelah dijemur selama 3 hari, (f) Setelah dijemur selama 4 hari. 34
Gambar 4.8	Pengaruh waktu penjemuran terhadap persentase luas pengotor yang 34

	terdegradasi di bawah lampu UV	
Gambar 4.9	Kondisi sampel setelah disemprot pasca penjemuran di dalam ruangan (a) Sebelum dijemur, (b) Setelah dijemur selama 1 hari, (c) Setelah dijemur selama 2 hari, (d) Setelah dijemur selama 3 hari, (f) Setelah dijemur selama 4 hari.	35
Gambar 4.10	Pengaruh waktu penjemuran terhadap persentase luas pengotor yang terdegradasi di dalam ruangan	36
Gambar 4.11	Pengaruh perbandingan massa TiO_2 :PEG terhadap persentase luas pengotor yang terdegradasi pada semua kondisi	38
Gambar 4.12	Hasil pengujian AFM TiO_2 dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG = 1:3	39
Gambar 4.13	Hasil pengujian AFM TiO_2 dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG = 1:4	39
Gambar 4.14	Hasil pengujian AFM TiO_2 dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG = 1:6	40
Gambar 4.15	Grafik distribusi frekuensi luas area TiO_2 dengan perbandingan massa TiO_2 :PEG = 1 : 3	40
Gambar 4.16	Grafik distribusi frekuensi luas area TiO_2 dengan perbandingan massa TiO_2 :PEG = 1 : 4	41
Gambar 4.17	Grafik distribusi frekuensi luas area TiO_2 dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG = 1 : 6	41

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Kandungan Senyawa pada Batu Gamping (Alwin, 2011)	6
Tabel 2.2 Perbedaan Struktur Kristal Anatase dan Rutile (Palupi,2006)	8
Tabel 3.1 Kode Sampel yang Digunakan untuk Pengujian Sudut Kontak	23
Tabel 4.1 Bilangan Gelombang dan Gugus Fungsi yang Terjadi pada Fase Anatase dan Rutile (Wu,dkk., 2012)	29
Tabel 4.2 Data Referensi Serapan Spektra FTIR PEG6000	29
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Rata-Rata Sudut Kontak pada Permukaan Cat	31
Tabel 4.4 Fungsi pada <i>Trendline</i> , Persentase Luas Pengotor yang Terdegradasi dan Laju Degradasi Awal Pengotor	37
Tabel 4.5 Hasil Pengolahan Citra Pengujian AFM	42

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di kabupaten Sumenep kepulauan Madura masih banyak masyarakat yang menggunakan batu gamping untuk mengecat tembok bangunan mereka. Selain proses pembuatannya yang mudah dan harganya yang relatif lebih murah, cat tembok batu gamping juga memiliki kelebihan tidak mudah mengelupas dan membuat tembok akan semakin kuat. (Radio Republik Indonesia, 2015). Cat juga memiliki fungsi untuk memberikan efek keindahan rumah, dan memberikan perlindungan dari debu atau kotoran yang lainnya. Tidak bisa dipungkiri untuk kondisi seperti di lingkungan pedesaan, faktor debu ataupun lumpur sangat dominan. Permukaan lapisan cat yang sudah mengering akan dengan mudah menjadi kotor dan kusam karena debu/kotoran yang menempel, sehingga diperlukan cat yang memiliki kemampuan anti kotor agar debu/kotoran tidak menempel pada dinding. Untuk mengatasi masalah tersebut maka diperlukan cat yang memiliki kemampuan *self cleaning*.

Salah satu teknologi yang sedang dikembangkan untuk aplikasi *self cleaning* pada cat adalah dengan memanfaatkan sifat fotokatalisis bahan TiO_2 . Proses fotokatalisis adalah proses dimana molekul kotoran organik dapat terurai dengan bantuan dari sinar matahari dan pelapis dari air yang mempunyai permukaan superhidrofilik (sudut kontak $\sim 0^\circ$), sehingga ketika diberi air, molekul kotoran akan ikut terbawa. (Sari, 2012)

Berdasarkan hasil penelitian Tristantini (2011), diketahui bahwa dengan penambahan PEG pada TiO_2 dan SiO_2 terjadi penurunan sudut kontak mendekati 0° . Dan penelitian Slamet (2010) yang berkaitan dengan penggunaan TiO_2 pada material anti kabut dan swa-bersih, menunjukkan bahwa PEG6000 dengan berat molekul yang lebih besar menyebabkan transformasi ke TiO_2 kristalin lebih baik, sehingga plastik lebih bersifat hidrofilik.

Pada penelitian ini PEG6000 juga digunakan sebagai *dispersant* TiO_2 , dikarenakan bahan TiO_2 merupakan *powder*

yang partikelnya cenderung lengket satu sama lain atau mengalami penggumpalan secara mikroskopis. Semakin banyak rantai PEG, maka semakin merata distribusinya melapisi butiran-butiran atom TiO_2 . Distribusi PEG yang merata menutupi permukaan atom-atom TiO_2 akan menghalangi terjadinya aglomerasi atom-atom TiO_2 apabila dicampurkan pada cat. Akan tetapi terdapat batas optimum jumlah PEG sebagai *dispersant* yang dibutuhkan untuk melapisi atom-atom TiO_2 secara sempurna. Karena jika terlalu banyak, maka PEG akan menutupi seluruh permukaan atom dan menghalangi terbentuknya butiran-butiran nano. (Arsyad, 2012)

Selanjutnya Wahyuningtyas (2014), melakukan penelitian mengenai aplikasi sintesis TiO_2 melalui prekursor TiCl_3 sebagai *self cleaning* cat tembok dengan *dispersant* PEG6000, dengan variable tetap pada *dispersant* dan TiO_2 adalah 1:4, dan belum diteliti mengenai sudut kontak dari lapisan TiO_2 tersebut dalam aplikasi *self cleaning* cat. Hasil yang diperoleh adalah cat yang memiliki sifat *self cleaning* terbaik yaitu sampel yang memiliki kadar TiO_2 sebesar 2% dengan perbandingan anatase : rutile sebesar 90 : 10.

Oleh karena itu, pada tugas akhir ini akan diteliti mengenai pengaruh komposisi *dispersant* PEG6000 dan TiO_2 terhadap kemampuan *self cleaning* cat tembok gamping. Untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kemampuan *self cleaning* cat akan ditinjau dari sifat aglomerasi dan sudut kontak lapisan TiO_2 , serta membandingkan kemampuan *self cleaning* cat tembok campuran TiO_2 dengan tanpa TiO_2 .

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang dihadapi dalam tugas akhir ini adalah, bagaimana pengaruh komposisi *dispersant* PEG6000 dan TiO_2 terhadap kemampuan sifat *self cleaning* cat tembok batu gamping?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh komposisi *dispersant* PEG6000 dan TiO_2 terhadap kemampuan sifat *self cleaning* cat tembok batu gamping.

1.4 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penyelesaian masalah pada penelitian tugas akhir ini dan mencapai tujuan yang diinginkan, maka batasan masalah yang diambil adalah sebagai berikut.

- Cat tembok yang digunakan adalah cat tembok batu gamping tradisional yang berwarna putih.
- TiO_2 yang digunakan adalah hasil sintesis menggunakan prekursor TiCl_3
- *Dispersant* yang digunakan adalah PEG6000
- Pengujian dispersi TiO_2 dengan menggunakan *Atomic Force Microscope* (AFM) dilakukan pada sampel yang memiliki sifat *self cleaning* terbaik.

Halaman ini memang dikosongkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Batu Gamping

Batu gamping yang dikenal sebagai batu kapur merupakan bagian dari batuan karbonat yang disusun oleh dominan mineral mineral karbonat (Kusumadinata, 1983). Penyusun utama batu gamping adalah mineral kalsit (CaCO_3), sedangkan mineral karbonat lain yang dapat hadir adalah dolomit ($\text{Ca Mg} (\text{CO}_3)_2$), aragonit (CaCO_3), kalsit yang kaya akan magnesit, Magnesit (MgCO_3) dan siderit (FeCO_3). Mineral lain dapat juga ada sebagai mineral pengotor yang terbentuk pada saat pengendapan seperti mineral lempung, kuarsa (silika). Kandungan mineral pengotor tersebut dapat menjadi dasar pengklasifikasian batugamping. Bila batu gamping banyak dikotori oleh magnesit, maka disebut dolomit, bila pengotor mineral lempung disebut batu gamping lempungan dan bila pengotornya kuarsa disebut batu gamping kuarsa. Warna dari batu gamping sangat di kontrol oleh persentasi mineral penyusun yang dominan dan mineral pengotornya. Batu gamping yang berwarna putih susu dominan terdiri dari mineral kalsit, berwarna abu-abu muda – tua menunjukkan unsur unsur magnesium, warna kemerah-merahan umumnya disebabkan oleh kandungan mangan dan warna kehitaman disebabkan oleh kandungan unsur organik.

Data dari Direktorat Sumber Daya Mineral, Departemen Pertambangan dan Energi mengatakan bahwa batu gamping memiliki 32 sektor kegunaan. Konsumen industri yang paling besar adalah industri semen dan bahan bangunan (agregat dan ornamen), diikuti oleh industri lain seperti industri kertas, cat, plastik, kosmetik, farmasi, besi baja, kapur untuk pertanian, tekstil, industri gula, plastik, karet, bahan penjernih, pembuatan gas CO_2 , industri lemak dan lain-lain. Penggunaan batu gamping memerlukan persyaratan tertentu untuk masing-masing tujuan, seperti derajat kemurnian (kadar CaO), kandungan unsur pengotor (Mg, Al, Fe, P, S, Na, K dan F), mineral pengotor

(kuarsa, pirit, dan markasit) dan sifat fisiknya (kecerahan, ukuran butir, luas permukaan dan kelembabannya). Secara umum cadangan batugamping Indonesia mempunyai komposisi kimia sebagai berikut (Alwin, 2011):

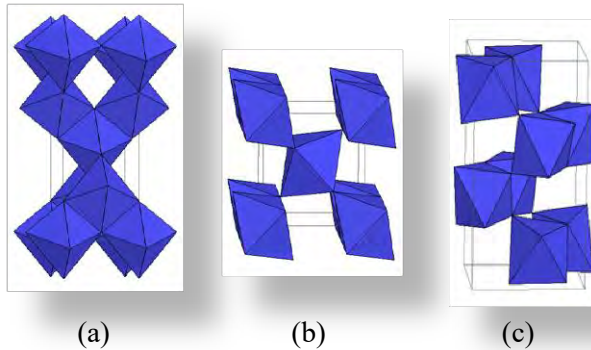
Tabel 2.1 Kandungan Senyawa pada Batu Gamping
(Alwin, 2011)

Senyawa	Kadar kandungan
CaO	40 – 55%
SiO ₂	0,23 – 18,12%
Al ₂ O ₃	0,20 – 4,33 %
Fe ₂ O ₃	0,1 – 1,36%
MgO	0,05 – 4,26 %
CO ₂	35,74 – 42,78 %
H ₂ O	0,1 – 0,85 %
P ₂ O ₅	0,072 – 0,109 %
K ₂ O	0,18 %
L.O.I	40,06%

2.2 Titanium Dioxide (TiO₂)

Titanium dioksida (TiO₂) merupakan material kristalin yang memiliki tujuh bentuk polimorf, empat bentuk ditemukan di alam dan sisanya sintetis (Ahonen, 2001). Dari empat bentuk alami tersebut hanya tiga yang termasuk dalam sintesis anorganik yaitu anatase, rutile, dan brookite.

Dua struktur kristal TiO₂ anatase dan rutile adalah yang paling sering digunakan dalam fotokatalisis, dengan anatase yang menunjukkan aktivitas fotokatalisis yang lebih tinggi. Struktur anatase dan rutile dapat dijelaskan dengan pola ikatan oktahedral TiO₆²⁺. Dua struktur kristal tersebut dibedakan oleh distorsi dari setiap oktahedron dan pola pemanasan ikatan oktahedra (Linsebigler et. al, 1995)



Gambar 2.1 Struktur kristal TiO_2 (a) anatase, (b) rutile, (c) brookite (ruby.colorado.edu/tio2.html)

Semikonduktor TiO_2 merupakan katalis yang banyak dipilih untuk proses fotokatalisis, karena TiO_2 bersifat inert secara biologi dan kimia, stabil terhadap korosi akibat foton, stabil terhadap korosi akibat kimia, tidak beracun, dan harganya relatif murah. Titanium oksida jenis anatase lebih fotoaktif daripada jenis rutile, karena luas permukaan anatase lebih besar daripada rutile, sehingga sisi aktif per unit anatase lebih besar daripada rutile. Energi pita konduksi untuk rutile mendekati potensial yang diperlukan untuk mereduksi air menjadi gas hydrogen secara elektrolisis, tetapi untuk anatase diagram energinya lebih tinggi, sehingga kemampuan mereduksinya lebih tinggi. Dengan potensial sebesar itu TiO_2 anatase dapat mereduksi molekul oksigen (O_2) menjadi superoksida (O_2^+) secara elektrolisis. Superoksida ini juga mempunyai sifat yang sama dengan radikal hidroksil dalam mendegradasi material organik.

Energi *band gap* pada anatase adalah 3,2 eV sedangkan rutil 3,1 eV. Perbedaan struktur kristal anatase dan rutile ditunjukkan pada tabel 2.1. Kristal rutile memiliki struktur yang lebih padat dibandingkan anatase, karenanya memiliki densitas dan indeks refraktif yang lebih tinggi.

Tabel 2.2 Perbedaan Struktur Kristal Anatase dan Rutile (Palupi,2006)

Faktor Perbedaan	Kristal	
	Anatase	Rutile
Energi gap (eV),	3,2	3,1
Massa jenis (gr/cm ³)	3,83	4,24
Indeks bias	2,5688	2,9467
Jarak Ti-Ti (Å)	3,97 dan 3,04	3,57 dan 2,96
Jarak Ti-O (Å)	1,937 dan 1,966	1,946 dan 1,983
Parameter Kisi (Å)	a = 3,782 c = 9,502	a = 2,953 c = 4,587

2.3 Dispersant / Surfaktant

Surfaktant (*surface active agent*) atau zat aktif permukaan, adalah senyawa kimia yang bila terdapat pada konsentrasi rendah dalam suatu sistem, mempunyai sifat adsorpsi pada permukaan/ antarmuka pada sistem tersebut dan merubah nilai energi bebas permukaan/ antar muka dari sistem tersebut. Energi bebas antarmuka adalah jumlah minimum kerja yang diperlukan untuk menciptakan sistem antarmuka tersebut. Energi bebas antar muka persatuan luas adalah apa yang diukur pada saat menentukan tegangan antar muka daripada menaikkan harga tersebut.

Surfaktant berperan penting misalnya dalam emulsi, koloid, katalis, korosi, detergen, flotasi dan lain-lain. Molekul pada permukaan memperlihatkan energi potensial lebih tinggi daripada interior, ini dikarenakan molekul-molekul tersebut berinteraksi kuat dalam interior daripada molekul tersebut berinteraksi pada daerah yang lebih luas di atasnya. Kerja diperlukan untuk membawa molekul *surfaktant* dari interior ke permukaan.

Ketika dilarutkan dalam pelarut, maka molekul-molekul surfaktan akan terletak di permukaan. Kehadirannya akan menurunkan energi bebas/tegangan permukaan. Orientasi molekul (struktur ampipatik) surfaktan pada permukaan, gugus hidrofilnya berada dalam fasa aqua dan gugus hidrofobiknya berada di permukaan (Rosen, 2004).

Surfaktant selain memiliki sifat menurunkan tegangan juga memiliki sifat sesuai dengan kegunaannya. Inilah mengapa *surfaktant* sering diberi nama sesuai dengan kegunaan utama *surfaktant* seperti: sabun, detergen, *wetting agent*, *dispersant*, *emulsifier agent*, *foaming agent*, bakterisida, inhibitor korosi, *antistatic agent*, dan lain lain (Jean, 2002).

2.4 Polietilen Glikol (PEG)

Polietilen glikol (PEG) disebut juga makrogol, merupakan polimer sintetik dari oksietilen dengan rumus struktur sebagai berikut :



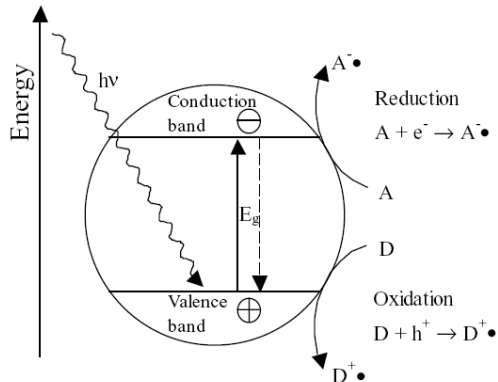
Dimana n adalah jumlah rata-rata gugus oksietilen. Penamaan PEG umumnya ditentukan dengan bilangan yang menunjukkan bobot molekul rata-rata. Umumnya PEG dengan bobot molekul 1500-20000 yang digunakan untuk pembuatan dispersi padat (Leuner and Dressman, 2000; Weller, 2003). Polimer ini mudah larut dalam berbagai pelarut, titik leleh dan toksisitasnya rendah, berada dalam bentuk semi kristalin (Craig, 1990). Kebanyakan PEG yang digunakan memiliki bobot molekul antara 4000 dan 20000, khususnya PEG 4000 dan 6000.

PEG juga dapat digunakan sebagai zat pendispersi (*dispersant*) untuk meningkatkan sifat fotokatalis TiO_2 . TiO_2 merupakan *powder* yang partikelnya cenderung lengket satu sama lain atau mengalami penggumpalan secara mikroskopis, sehingga dengan penambahan PEG mengurangi penggumpalan bahan TiO_2 dan menjadikannya lebih homogeni. (Kusmahetingsih, 2012). Berdasarkan hasil penelitian Slamet yang berkaitan dengan penggunaan TiO_2 pada material anti kabut dan swa-bersih (2010), menunjukan bahwa PEG6000 dengan berat molekul yang lebih besar menyebabkan transformasi ke TiO_2 kristalin lebih baik, sehingga plastik lebih bersifat hidrofilik.

2.5 Proses Fotokatalisis TiO_2

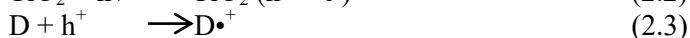
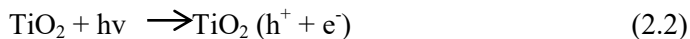
Fotokatalisis merupakan proses aktivasi kimia dengan menggunakan cahaya. Agar terjadi proses fotokatalisis pada

material TiO_2 maka diperlukan penyinaran pada permukaan TiO_2 dengan menggunakan sinar ultraviolet yang bisa berasal cahaya matahari atau lampu UV. Pada gambar 2.2 merupakan proses fotokatalis dari TiO_2 .

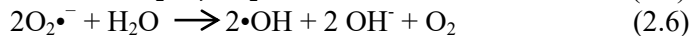


Gambar 2.2 Proses fotokatalis TiO_2 (Benedix, 2000).

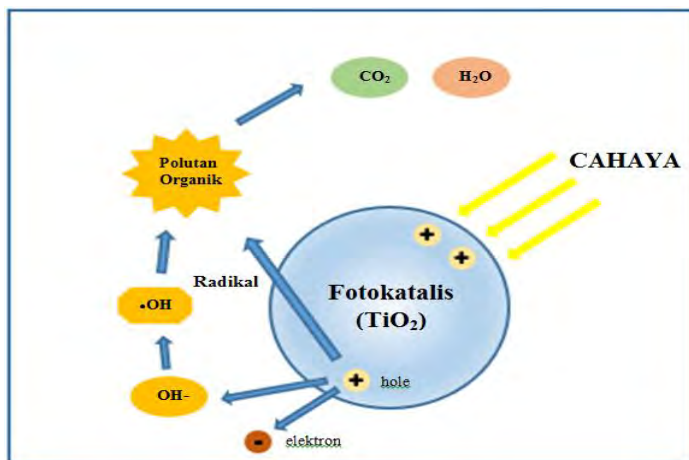
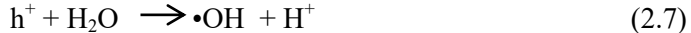
Apabila partikel-partikel material TiO_2 menyerap energi $h\nu$ yang besarnya melebihi energi *band gap* maka akan menyebabkan elektron (e^-) di pita valensi tereksitasi ke pita konduksi sehingga akan meninggalkan *hole* (h^+) yang ditunjukkan oleh reaksi kimia (2.2). Pada bahan TiO_2 yang merupakan bahan semikonduktor sebagian pasangan elektron-hole akan berdifusi ke permukaan dari partikel katalis. Pasangan elektron-hole yang terjebak di permukaan akan mengalami reaksi kimia dengan molekul donor yang terserap (D) atau molekul aseptor (A). Molekul donor akan teroksidasi oleh hole (2.3) sedangkan elektron di pita konduksi akan mengurangi elektron molekul *acceptor* (2.4) (Macias, 2003).



Elektron pada pita konduksi akan mereduksi oksigen di udara sehingga menghasilkan super-oxide ion $O_2^{\bullet-}$ (2.5) yang merupakan partikel sangat reaktif sehingga mampu untuk mendekomposisi senyawa organik. Selanjutnya super-oxide akan bereaksi dengan air (H_2O) yang menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet OH$) dan ion hidroksil (OH^-) pada reaksi kimia (2.6) (Macias, 2003).



Proses fotokatalisis TiO_2 akan menyebabkan terjadinya dekomposisi senyawa organik secara langsung oleh *hole* atau secara tidak langsung oleh radikal hidroksil yang dihasilkan oleh reaksi antara *hole* dengan air (H_2O) ditunjukkan oleh reaksi kimia (2.7) dan antara *hole* dengan ion hidroksil (OH^-) pada reaksi kimia (2.8) (Macias, 2003).



Gambar 2.3 Degradasi senyawa organik oleh proses fotokatalisis TiO_2 (Schiavello, 1997).

Hole dapat mendekomposisi senyawa organik secara langsung karena termasuk oksidator yang sangat kuat. Begitu pula dengan radikal hidroksil juga merupakan oksidator yang kuat sehingga mampu mendegradasi senyawa organik menjadi CO_2 dan H_2O seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3.

2.6 Sifat Hidrofilik

Suatu permukaan bersifat hidrofilik bila sudut kontak fasa air dengan permukaan benda lebih rendah dari 10° , atau mendekati 0° . Lapisan tipis TiO_2 pada permukaan benda ketika sinar UV akan mengalami keadaan hidrofilik. Pada permukaan ini, ketika terkena sinar UV air mulai menyebar dan membentuk sudut kontak yang semakin kecil sehingga akhirnya hampir mencapai 0° .

TiO_2 memiliki celah pita energi bila terkena sinar UV akan menghasilkan elektron pada pita konduksi dan lubang positif (*hole*) pada pita valensi. Elektron dan lubang positif ini dapat berekombinasi atau pindah ke permukaan untuk bereaksi dengan bahan yang terserap di permukaan. Hal ini merupakan dasar fotoeksitasi. Beberapa lubang positif ini dapat pula bereaksi dengan oksigen membentuk permukaan oksigen yang kosong. Sementara beberapa elektron bereaksi dengan ion logam (Ti^{4+}) membentuk Ti^{3+} .

Mekanisme sifat hidrofilik yang terjadi adalah sebagai berikut (Licciuli, 2002)

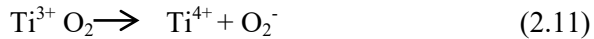
- Ketika cahaya UV yang memiliki energi foton yang lebih besar atau sama dengan celah energi pita semikonduktor mengenai permukaan katalis, akan terjadi eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Efek yang ditimbulkan adalah terbentuknya elektron pada pita konduksi dan *hole* pada pita valensi. Hal ini terus berlangsung selama penyinaran.



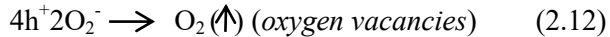
- Elektron pada pita konduksi mereduksi Ti (IV) menjadi Ti(III)



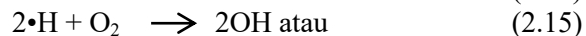
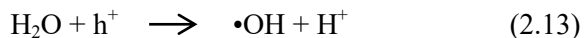
Selama penyinaran UV berlangsung, Ti^{3+} cenderung untuk bereaksi dengan molekul oksigen yang terserap di permukaan dan kembali menjadi Ti^{4+} menurut reaksi seperti berikut:



- *Hole* (h^+) akan mengoksidasi oksigen (O_2^-) yang berasal dari bridging *site oksigen* pada Kristal TiO_2 . Hasil oksidasi yaitu oksigen akan dilepas dan menghasilkan *oxygen vacancies*.



- Dengan adanya *oxygen vacancies*, permukaan menjadi hidrofilik karena air dapat dengan mudah mengisi tempat kosong dan menghasilkan gugus OH teradsorbsi yang membentuk monolayer pada permukaan TiO_2 menurut reaksi



Dengan adanya gaya Van der Waals dan ikatan hydrogen, grup OH teradsorbsi dapat berikatan dengan air yang datang ke permukaan. Namun efek superhidrofilik akan berkurang bila cahaya UV dihentikan atau bila lapisan TiO_2 diletakkan di tempat yang gelap (Guan, 2005).

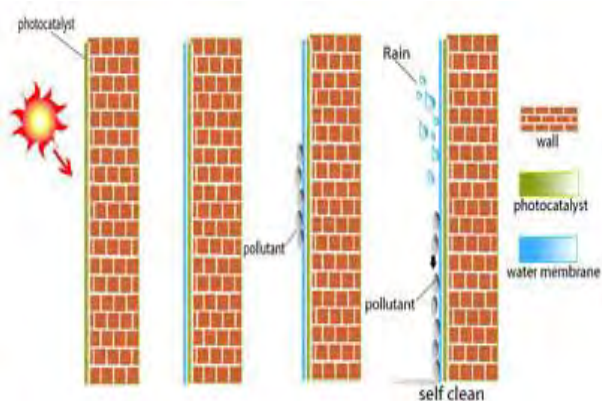
2.7 Aplikasi TiO_2 sebagai *Self Cleaning Agent*

Self cleaning surface merupakan kondisi dimana suatu permukaan apabila terkena kotoran, pembersihan secara manual tidak dibutuhkan dan hanya dibutuhkan bantuan air hujan untuk mengatasi proses pembersihan tersebut. TiO_2 bertindak sebagai *self cleaning* melalui 2 mekanisme yang berbeda. Pertama,

menggunakan sinar ultraviolet untuk mendekomposisikan kotoran (fotokatalisis). Kedua, radiasi UV menyebabkan terjadinya oksidasi sehingga mempengaruhi permukaan menjadi suka akan air (mengabsorpsi air).

Cat *self cleaning* merupakan cat yang memiliki kemampuan untuk menjaga dinding tetap bersih dengan mengusir kotoran, kabut, bakteri, alga dan jamur yang biasanya ada di permukaan. Cat *self cleaning* dapat dihasilkan dengan memanfaatkan proses fotokatalis bahan TiO_2 .

Apabila TiO_2 digunakan untuk melapisi dinding luar seperti ditunjukkan pada gambar 2.4 maka permukaan tersebut akan menjadi bersifat *self cleaning* dan *anti soiling* karena kotoran dan polutan tidak dapat melekat pada dinding dan akan dibersihkan oleh air hujan.



Gambar 2.4 Proses *self cleaning* permukaan dengan TiO_2 pada dinding luar (Schiavello, 1997).

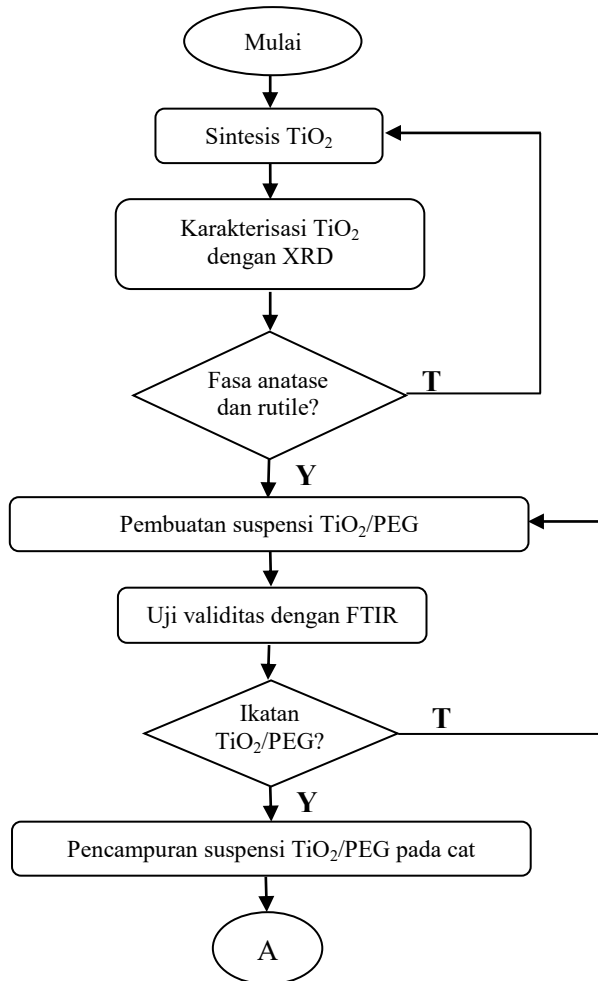
Cat *self cleaning* merupakan cat yang memiliki kemampuan untuk menjaga dinding tetap bersih dengan mengusir kotoran, kabut, bakteri, alga dan jamur yang biasanya ada di permukaan. Cat *self cleaning* dapat dihasilkan dengan memanfaatkan sifat fotokatalis bahan TiO_2 . Ketika partikel-partikel TiO_2 disinari dengan menggunakan sinar ultraviolet maka akan terjadi oksidasi

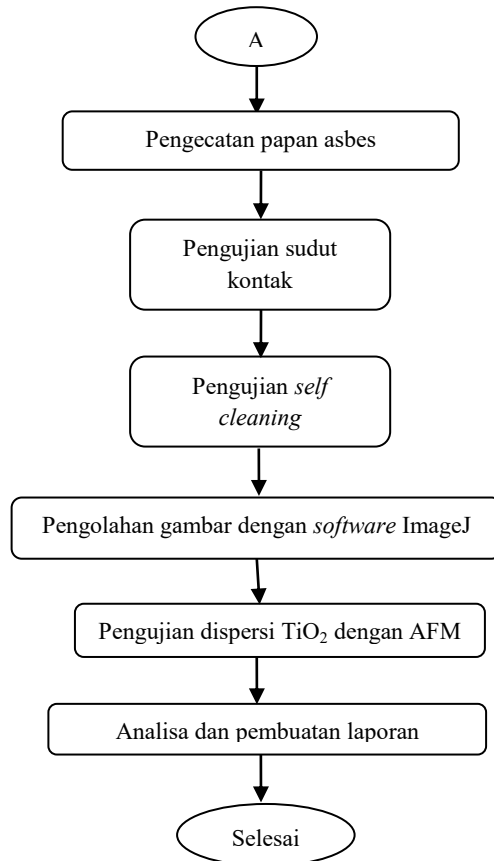
sehingga dapat mendekomposisi polutan organik menjadi molekul yang tidak berbahaya. Namun, biasanya binder organik pada cat tidak akan menjadi lapisan yang bisa memberikan perlindungan ketika terjadi oksidasi. Selain itu efek lingkungan dan cuaca akan mengakibatkan terjadinya dekomposisi sehingga membuat film cat mengalami pengapuran (*chalk*), partikel pigmen kehilangan sifat adhesi terhadap film karena dekomposisi bahan pengikat (resin). Oleh karena itu diperlukan cara agar sifat fotokatalis TiO_2 dapat diaplikasikan untuk cat *self cleaning* tanpa menyebabkan film cat mengalami pengapuran terlalu cepat dan melepaskan partikel nano ke lingkungan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang tahapan pengerjaan dari penelitian yang telah dilakukan. Berikut ini merupakan diagram alir tahapan pengerjaan secara umum:





Gambar 3.1 Skema diagram alir penelitian secara umum

3.1 Sintesis Nanokristal TiO₂

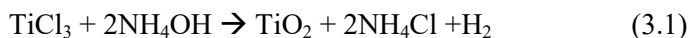
Pada penelitian diperlukan beberapa alat dan bahan yang digunakan untuk melakukan proses sintesis. Bahan yang digunakan adalah:

- TiCl₃ (Titanium trichlorid)
- HCl (hydrochlorid acid) 2M 37%
- NH₄OH (ammonia) 2M 25%
- Aquades

Sedangkan alat yang digunakan pada proses sintesis adalah:

- Timbangan digital
- Gelas beaker
- Gelas ukur
- Pipet
- Spatula
- Gunting
- Mortar
- Kertas filter
- *Crucible* ukuran 50 ml
- *Magnetic stirrer*
- *Hotplate* Yellow MAG HS7
- *Furnace*
- Masker
- Sarung tangan

Dalam proses sintesis digunakan TiCl_3 sebagai prekursor untuk menghasilkan TiO_2 dengan dicampurkan 10 ml TiCl_3 dengan 0,3 ml HCl dan 4,7 ml aquades, diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan temperatur 45° dan kecepatan 1,5 mod. Setelah didapatkan larutan yang homogen selama pengadukan ± 5 menit, kemudian ditambahkan 20 ml HCl, lalu diaduk kembali sampai didapatkan warna larutan yang lebih gelap (biru tua). Selanjutnya ditambahkan 50 ml NH_4OH kemudian diaduk kembali dan untuk seterusnya ditambahkan NH_4OH terus menerus sebanyak 400 ml sampai didapatkan endapan putih di permukaannya. Pengadukan dilakukan sampai didapatkan larutan berwarna putih pekat. Selanjutnya pengadukan dihentikan dan didiamkan untuk proses pengendapan TiO_2 . Hasil pengendapan TiO_2 dipisahkan dengan fase cairnya lalu dicuci dengan menggunakan aquades sampai tidak lagi tercium bau NH_4OH dan untuk selanjutnya disaring menggunakan kertas *filter* (Wahyuono, 2013). Berikut ini merupakan bentuk reaksi kimia dari proses sintesis yang dilakukan oleh (Hunter, 1998).



Untuk memperoleh fasa anatase dengan ukuran partikel sebesar 7 nm – 15 nm dilakukan proses kalsinasi TiO_2 pada suhu 400 °C selama 4 jam, dan dikalsinasi kembali pada suhu 500°C selama 2 jam apabila masih bersifat amorf. Selanjutnya untuk memperoleh fasa rutil dilakukan proses kalsinasi TiO_2 pada suhu 1000 °C selama 7 jam. Setelah didapatkan fasa anatase dan rutil kemudian dilakukan karakterisasi TiO_2 dengan menggunakan XRD untuk mengetahui fasanya dan dihitung ukuran partikelnya.

3.2 Pencampuran TiO_2 /PEG pada Cat

Untuk pembuatan suspensi TiO_2 /PEG digunakan campuran TiO_2 sebanyak 1 gram dengan perbandingan fasa anatase dan rutil adalah 90:10 kemudian dilakukan penambahan PEG 6000 pada TiO_2 sebagai variabel bebas. Selanjutnya dilakukan pengujian FTIR untuk mengetahui jenis ikatan TiO_2 dengan PEG. Proses pencampuran TiO_2 dan PEG pada cat menggunakan *magnetic stirrer*

3.2.1 Alat dan bahan

Bahan-bahan yang diperlukan pada proses pencampuran TiO_2 dan PEG pada cat adalah:

- Cat paragon warna putih
- Suspensi TiO_2 /PEG
- Aquades

Alat-alat yang diperlukan pada proses pencampuran TiO_2 dan PEG pada cat adalah:

- Timbangan digital
- Gelas beaker
- Papan asbes
- Kuas
- *Magnetic stirrer*

3.2.2 Preparasi TiO_2 dan PEG 6000

Pembuatan suspensi TiO_2 dilakukan pencampuran antara TiO_2 dengan aquades 10 ml kemudian dilakukan pengadukan

menggunakan *magnetic stirrer* dengan temperatur 50 °C selama 2jam. Massa TiO₂ anatase: rutil yang digunakan adalah 0.9 : 0.1 gram. Selanjutnya dilakukan penambahan PEG 6000 sesuai dengan perbandingan massa dengan TiO₂ yang telah ditentukan. Pada penelitian ini ditentukan perbandingan massa TiO₂ : PEG yaitu 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6. Kemudian dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit.

3.2.3 Preparasi cat

Preparasi cat yang digunakan dalam penelitian ini merupakan cat batu gamping serta penentuan massa TiO₂ dan PEG6000 yang dicampurkan dalam cat. Pada penelitian ini cat yang digunakan adalah cat gamping warna putih. Selanjutnya proses pencampuran TiO₂ dan PEG 6000 yang kemudian dicampurkan pada cat terdiri dari 2 tahap, yaitu pembuatan suspensi cat tembok gamping dan pencampuran suspensi TiO₂/PEG pada cat.

- **Pembuatan suspensi cat tembok batu gamping**

Pembuatan suspensi cat tembok gamping terdiri dari 1000ml air dan 500gram batu gamping yang telah diendapkan selama 5 hari.

- **Pencampuran TiO₂/PEG pada cat**

Pencampuran suspensi TiO₂/PEG pada cat dilakukan dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Massa cat yang digunakan adalah 50gram untuk semua sampel.

3.3 Pengujian XRD TiO₂

Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) adalah pengujian material yang memanfaatkan prinsip difraksi sinar-X. Sinar-X ditembakkan pada sampel kemudian akan terjadi proses penghamburan setelah sinar-X bertumbukan dengan sampel yang diuji.

Hasil dari pengujian ini berupa grafik intensitas terhadap sudut difraksi (2θ). Semakin tinggi intensitas yang dihasilkan menunjukkan bahwa material yang terkandung dalam sampel semakin kristalin. Semakin rendah intensitas yang dihasilkan

menunjukkan bahwa material yang terkandung dalam sampel berbentuk amorf. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ukuran partikel dan presentase fasa dari suatu bahan.

3.4 Pengujian FTIR Suspensi TiO_2 /PEG

Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) adalah pengujian material menggunakan spektroskopi inframerah. FTIR menggunakan monokromator Michelson Interferometer, dimana terdapat dua cermin yaitu cermin yang bergerak tegak lurus dan cermin diam. Sinar inframerah nantinya akan diserap atau diteruskan oleh sampel sehingga akan ada perbedaan intensitas spektrum yang ditangkap oleh detektor. Spektrum ini yang kemudian akan diolah menggunakan *Fourier Transform* sehingga dihasilkan grafik cahaya yang ditransmisikan terhadap bilangan gelombang. Setelah didapatkan grafik cahaya maka dapat diketahui karakteristik dari material yang diuji.

Pengujian ini dilakukan untuk menguji sifat absorbsi dan mengetahui jenis ikatan kimia yang ada pada suspensi TiO_2 /PEG 6000. Hasil serapan yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan data referensi serapan suspensi TiO_2 /PEG 6000 pada penelitian sebelumnya.

3.5 Pengujian *Self Cleaning*

3.5.1 Preparasi objek pengecatan

Pada penelitian ini objek yang digunakan sebagai media pengecatan adalah papan asbes lurus dengan tebal 0,3 mm dan berukuran 10 cm x 10 cm sebanyak 36 papan. Untuk masing-masing uji sudut kontak dan *self cleaning* terdiri dari 18 papan untuk campuran TiO_2 dan PEG 6000 sedangkan 1 papan untuk cat tanpa campuran TiO_2 dan PEG. Sebelum dilakukan pengecatan, papan asbes diberikan plamir dengan komposisi 25gram lem putih, 100gram semen putih, 50gram plamir dan 100ml air. Setelah itu asbes yang telah diberi plamir dikeringkan dan diampelas sampai permukaannya menjadi halus dan rata. Asbes yang telah diplamir diasumsikan sebagai dinding bangunan.

3.5.2 Pengujian sudut kontak

Pengujian sudut kontak ini dilakukan untuk sifat hidrofilik permukaan cat dengan cara mengukur sudut yang terbentuk antara permukaan papan asbes dan garis tangensial jari-jari butiran air. Suatu permukaan bersifat hidrofilik bila sudut kontak fasa air dengan permukaan benda lebih rendah dari 10° , atau mendekati 0° . Pada pengujian sudut kontak dilakukan dengan tiga kondisi yaitu di bawah sinar matahari, di bawah lampu UV dan di dalam ruangan. Pengujian ini menggunakan air yang diteteskan dengan menggunakan pipet tetes. Untuk melihat hasil butiran air yang menempel pada papan asbes, butiran air tersebut difoto dari samping dengan menggunakan kamera DSLR yang telah diatur untuk dapat mengambil sekitar 2-3 gambar dalam satu detik untuk mendapatkan gambar butiran air yang tepat saat jatuh pada permukaan cat. Hasil gambar yang didapatkan kemudian dilakukan pengukuran sudut kontak dengan cara manual menggunakan busur. Pengukuran dilakukan dengan tiga kondisi yang berbeda berdasarkan cahaya matahari yang dapat diterima oleh sampel cat. Tiga kondisi tersebut diwakili oleh di bawah sinar matahari, teras, dan didalam ruangan.

Tabel 3.1 Kode Sampel yang Digunakan untuk Pengujian Sudut Kontak

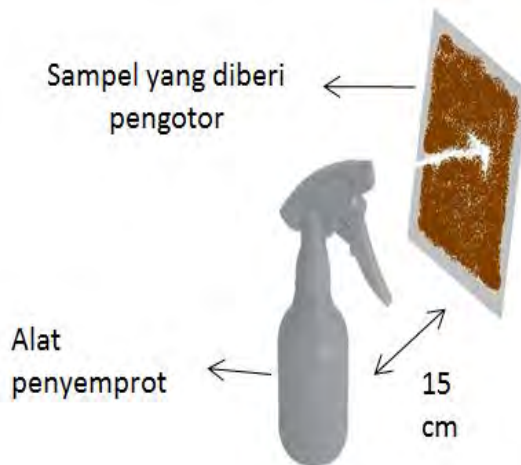
Kondisi perlakuan	Perbandingan massa TiO_2 : PEG					Cat tanpa TiO_2 dan PEG
	1:2	1 : 3	1 : 4	1: 5	1: 6	
Di bawah sinar matahari	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Di teras	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Di dalam ruangan	C1	C2	C3	C4	C5	C6

3.5.3 Pengujian *self cleaning*

Pengujian *self cleaning* dilakukan ketika cat pada papan asbes sudah kering. Pengujian *self cleaning* dilakukan dengan diberi pengotor berupa lumpur dilakukan dengan menggunakan tiga kondisi yaitu di bawah sinar matahari, di bawah lampu UV,

dan dalam ruangan. Sampel yang telah diberi pengotor kemudian diambil gambarnya dan dijemur selama 4 hari. Penjemuran dilakukan pada pukul 06.00 WIB sampai pukul 16.00 WIB. Setelah dilakukan penjemuran selama 1 hari (10 jam) dilakukan penyemprotan dengan menggunakan air seperti pada gambar 3.3 kemudian dilakukan pengambilan gambar, dilakukan hal yang sama selama sampai hari ke 4 penjemuran. Pengukuran dilakukan dengan tiga kondisi yang berbeda berdasarkan sinar UV yang dapat diterima oleh sampel cat. Tiga kondisi tersebut diwakili oleh di bawah sinar matahari, di bawah lampu UV, dan di dalam ruangan. Kode sampel pada uji self cleaning yang digunakan yaitu sama dengan kode sampel yang digunakan untuk pengujian sudut kontak pada tabel 3.1.

Untuk membandingkan sifat *self cleaning* maka dilakukan pengolahan citra (*image processing*) menggunakan *software* ImmageJ pada foto sampel. Pengolahan citra ini digunakan untuk mengetahui nilai *total area*, *area fraction*, dan *average size* pengotor yang masih tersisa pada sampel. Dari pengolahan citra tersebut maka akan dapat diketahui sampel mana yang memiliki sifat *self cleaning* terbaik.



Gambar 3.2 Skema penyemprotan sampel pada pengujian *self cleaning*.

3.6 Pengujian Dispersi TiO_2 dengan AFM

Untuk mengetahui dispersi TiO_2 pada cat dilakukan pengujian dengan menggunakan *atomic force microscope* (AFM). Dari gambar yang diperoleh dari hasil pengujian AFM kemudian dilakukan pengolahan citra ImageJ.

AFM merupakan alat yang digunakan untuk menghasilkan gambar topografi permukaan material dalam orde nano meter. AFM akan mendeteksi data-data yang dihasilkan oleh gaya yang ditimbulkan oleh interaksi antara ujung jaru (*tip*) dan permukaan bahan. Gaya yang terjadi antara *tip* dan permukaan bahan berupa gaya tarikan atau dorongan. Setiap gaya akan mengakibatkan pembengkokan tertentu pada bagian batang dudukan jarum ukur (*cantilever*) dimana akan terdeteksi oleh berkas laser dan kemudian ditangkap oleh detector yang kemudian akan dicitrakan menjadi sebuah *image*.

3.7 Pengolahan Gambar dengan Software ImageJ

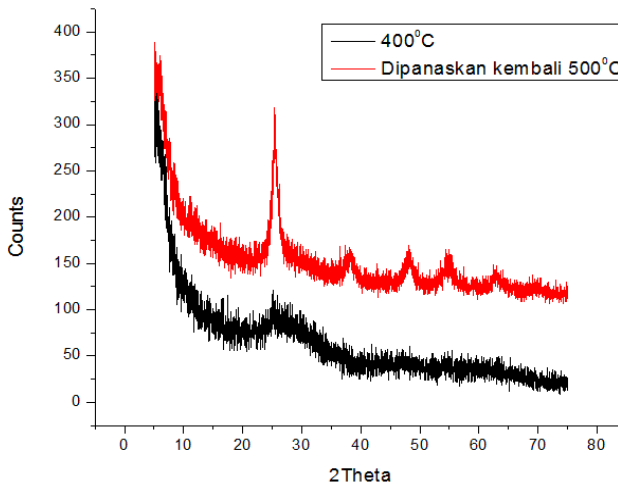
Pengolahan gambar dengan *software* ImageJ ini dilakukan untuk mengetahui luas sisa pengotor, laju degradasi, dan prosentase sisa pengotor. Setelah diketahui luas sisa pengotor, laju degradasi, dan prosentase luas pengotor yang terdegradasi maka dilakukan perhitungan fungsi *trendline*. Gambar sampel yang diolah hanya pada gambar yang ada pengotornya saja. Gambar sampel di *set scale* untuk mengkalibrasi skala dalam bentuk pixel ke skala cm. Untuk mendapatkan luas sisa pengotor, gambar sampel diubah dalam bentuk biner untuk memudahkan perhitungan. Setelah diubah dalam bentuk biner dilakukan pengaturan *threshold* untuk menentukan ukuran luas sisa pengotor yang sebenarnya. Selanjutnya dilakukan *analyze particle* untuk menghitung luas masing-masing sisa pengotor pada sampel

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

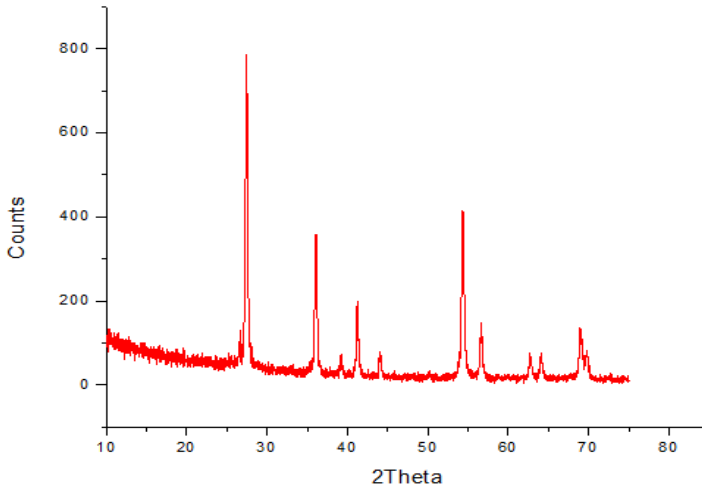
4.1 Pengujian XRD TiO_2

Pengujian XRD serbuk TiO_2 bertujuan untuk mengetahui fase TiO_2 yang terbentuk yaitu fase anatase dan fase rutile serta mengetahui ukuran partikel dari masing-masing fase. Gambar 4.1 merupakan hasil pengujian XRD TiO_2 fase anatase dengan waktu pemanasan 400°C selama waktu 4 jam. Dari pemanasan tersebut diperoleh serbuk TiO_2 yang bersifat amorf dan tidak ada puncak yang muncul, sehingga tidak dapat ditentukan ukuran partikelnya. Oleh karena itu dilakukan pemanasan kembali pada suhu 500°C selama 2 jam dan diperoleh puncak-puncak pada gambar 4.1. Untuk menganalisa fase anatase digunakan acuan standar JCPDS 00-021-1272 dan 00-004-0551, sedangkan fase *rutile* menggunakan JCPDS 00-21-1276. Pada kurva tersebut dapat dilihat bahwa ditemukan TiO_2 fase anatase pada sudut 2θ dengan $25,52^\circ$, $48,23^\circ$, $73,11^\circ$ dan memiliki bidang (101), (200), (220).



Gambar 4.1 Hasil uji XRD TiO_2 fase anatase

Gambar 4.2 menunjukkan hasil XRD pada fase rutile dengan waktu pemanasan 1000°C selama waktu 7 jam dimana muncul puncak-puncak tertentu sesuai dengan acuan standar yang digunakan. Untuk fase rutile dapat diketahui dari munculnya puncak-puncak pada sudut 2θ dengan $27,41^\circ$, $36,07^\circ$, $39,24^\circ$, $41,28^\circ$, $44,12^\circ$, $54,38^\circ$, $56,61^\circ$, $62,76^\circ$, $64,12^\circ$, $69,83^\circ$, $72,52^\circ$ dan secara berturut-turut mempunyai bidang (110), (101), (200), (111), (210), (211), (220), (002), (310), (112), (311).



Gambar 4.2 Hasil uji XRD TiO_2 fase rutile

Dari hasil pengujian XRD serbuk TiO_2 tersebut kemudian dapat dilakukan perhitungan ukuran kristal menggunakan persamaan Scherrer (persamaan 4.1) (Sardela, 2008)

$$D = \frac{k\lambda}{\cos(\theta) * FWHM} \quad (4.1)$$

Dengan D adalah ukuran kristal suatu bahan (nm), k adalah konstanta ($k=0,89$), λ adalah panjang gelombang sinar-X (Cu K λ) yang bernilai 0,154 nm, FWHM adalah *Full Width Half Maximum* (dalam radian), dan θ adalah sudut difraksinya.

Setelah dilakukan perhitungan didapatkan ukuran partikel TiO_2 fasa anatase memiliki ukuran sebesar 7-15nm, sedangkan untuk fasa rutile memiliki ukuran sebesar 80-99nm.

4.2 Pengujian FTIR

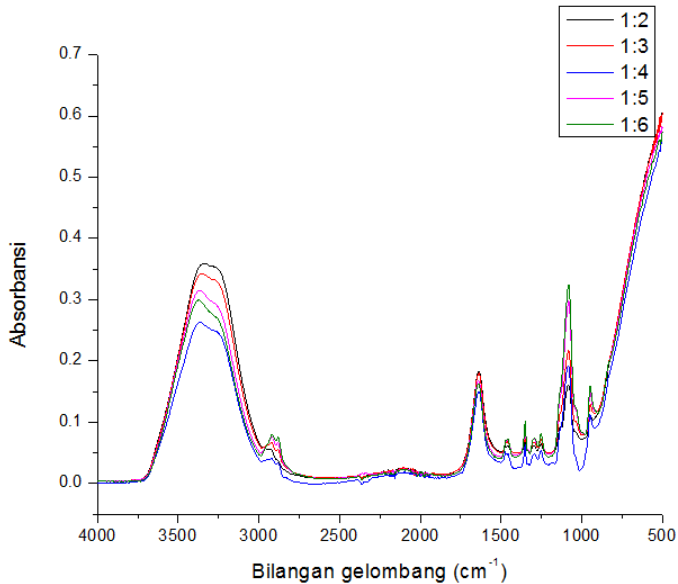
Pada tabel 4.1 merupakan data referensi TiO_2 sedangkan tabel 4.2 menunjukkan data referensi serapan spectra FTIR PEG6000. Gambar 4.3 merupakan hasil pengujian FTIR suspensi TiO_2 /PEG 6000 yang menunjukkan adanya puncak-puncak pada bilangan gelombang 940 cm^{-1} , 1080 cm^{-1} , 1200 cm^{-1} , 1630 cm^{-1} , dan 3300 cm^{-1} .

Tabel 4.1 Bilangan Gelombang dan Gugus Fungsi yang Terjadi pada Fase Anatase dan Rutile (Wu, dkk., 2012)

Fase	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsi Teramati
Anatase	1210,92	Vibrasi Ti-O-O
	1636,61	<i>Bending vibration</i> dari H_2O and Ti-OH
	2360,83	<i>Defect</i> (Vibrasi CO_2)
	3357,26	H-OH menyerap air
Rutile	2358,65	<i>Defect</i> (Vibrasi CO_2)

Tabel 4.2 Data Referensi Serapan Spektra FTIR PEG 6000

Bilangan gelombang (cm^{-1})	Serapan karakteristik
2880	CH stretching alifatik
1470	Vibrasi bending CH
1100	C-O alkohol
950	Vibrasi C-C



Gambar 4.3 Hasil uji FTIR $\text{TiO}_2/\text{PEG6000}$

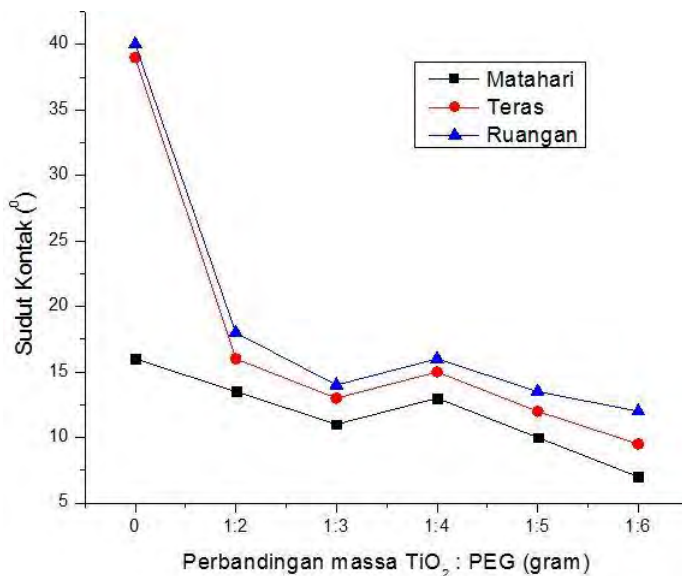
Hasil serapan spektra dan absorbansi suspensi TiO_2/PEG pada gambar 4.3 terdapat pada lampiran B. Dari nilai puncak – puncak yang dihasilkan telah meliputi bilangan gelombang yang menunjukkan adanya ikatan TiO_2 dengan PEG sesuai tabel 4.1 dan tabel 4.2.

4.3 Pengujian Sudut Kontak

Pengujian sudut kontak dilakukan dengan cara mengukur sudut tetesan air dengan permukaan cat. Pengukuran sudut kontak ini dilakukan ditiga kondisi yang berbeda yaitu di bawah sinar matahari langsung, di teras, dan di dalam ruangan. Nilai sudut kontak pada permukaan cat diperoleh seperti pada tabel 4.4.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Rata-Rata Sudut Kontak pada Permukaan Cat

Massa TiO ₂ : PEG	Sudut Kontak (°)		
	Matahari	Teras	Ruangan
0	16	39	40
1:2	13,5	16	18
1:3	11	13	14
1:4	13	15	16
1:5	10	12	13,5
1:6	7	9,5	12



Gambar 4.4 Hasil pengukuran sudut kontak pada permukaan cat

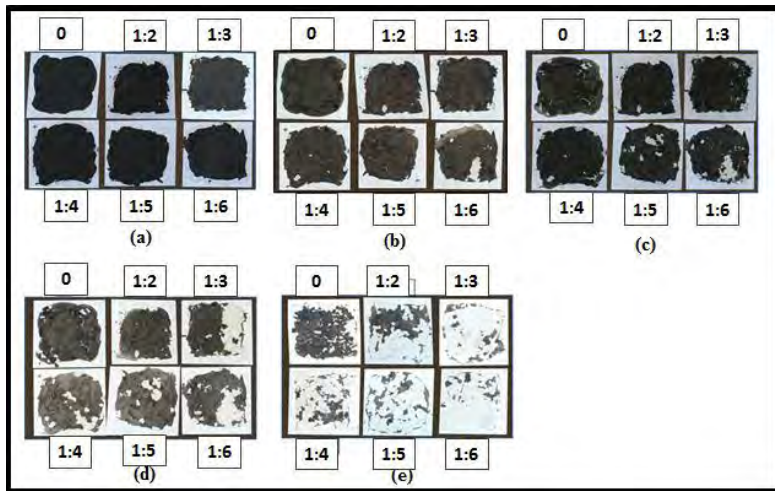
4.4 Pengujian *Self Cleaning* dan Dispersi TiO₂

Pengujian *self cleaning* dilakukan dengan menggunakan pengotor lumpur dalam tiga kondisi yaitu di bawah sinar matahari, di bawah lampu UV dan dalam ruangan. Sampel yang

telah diberi pengotor kemudian dijemur selama 4 hari dengan rentang pengambilan foto setiap 1 hari (10 jam). Selanjutnya untuk mengetahui sifat *self cleaning* sampel digunakan pengolahan citra (*image processing*) dengan menggunakan *software* ImageJ.

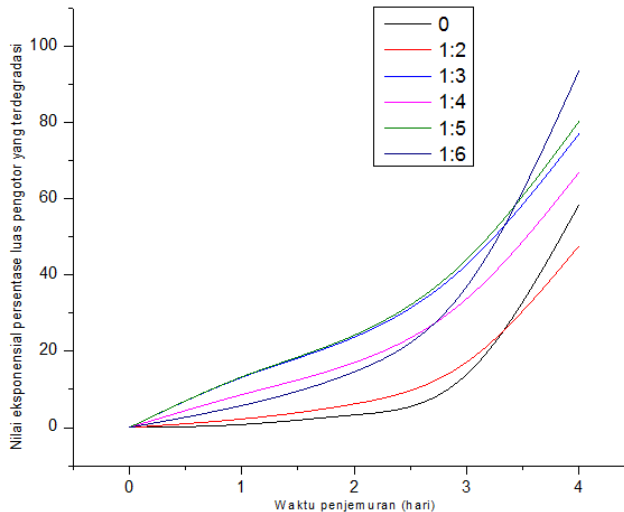
4.4.1 Pengujian *Self Cleaning* dengan pengotor lumpur

Hasil pengujian *self cleaning* pada kondisi di bawah matahari, di bawah lampu UV dan dalam ruangan ditunjukkan pada gambar 4.5, gambar 4.7, dan gambar 4.9.



Gambar 4.5 Kondisi sampel setelah disemprot pasca penjemuran di bawah sinar matahari .

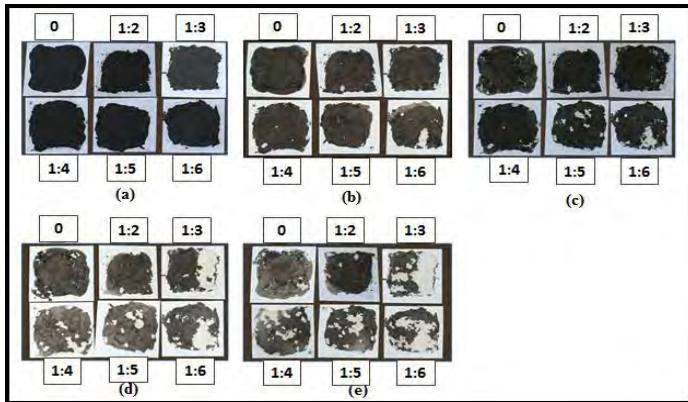
- (a) Sebelum dijemur,
- (b) Setelah dijemur selama 1 hari,
- (c) Setelah dijemur selama 2 hari,
- (d) Setelah dijemur selama 3 hari,
- (e) Setelah dijemur selama 4 hari



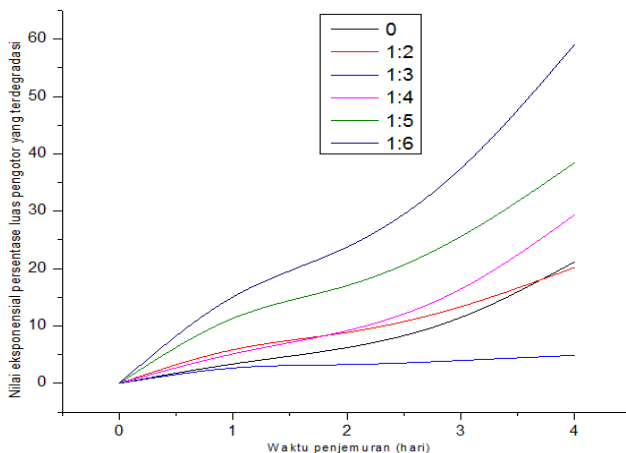
Gambar 4.6 Pengaruh waktu penjemuran terhadap persentase luas pengotor yang terdegradasi di bawah sinar matahari

Pada gambar 4.5 merupakan gambar sampel pada kondisi di bawah sinar matahari. Gambar 4.5(a) merupakan keadaan awal sampel diberi pengotor dan terjadi pengurangan pengotor pada gambar 4.5(f) yang merupakan keadaan setelah penjemuran 40 jam. Gambar tersebut menunjukkan sisa pengotor pada sampel berkurang cukup banyak.

Gambar 4.6 merupakan grafik pengaruh waktu penjemuran terhadap persentase luas pengotor yang terdegradasi di bawah sinar matahari. Dari grafik tersebut dapat diketahui mulai hari ke 0 sampai hari ke 3, luas pengotor yang terdegradasi terjadi tidak terlalu besar. Sedangkan dari hari ke 3 sampai hari ke 4 luas pengotor yang terdegradasi terjadi sangat besar, kecuali pada sampel 0 (tanpa TiO_2) yang mengalami sedikit pengurangan pengotor.



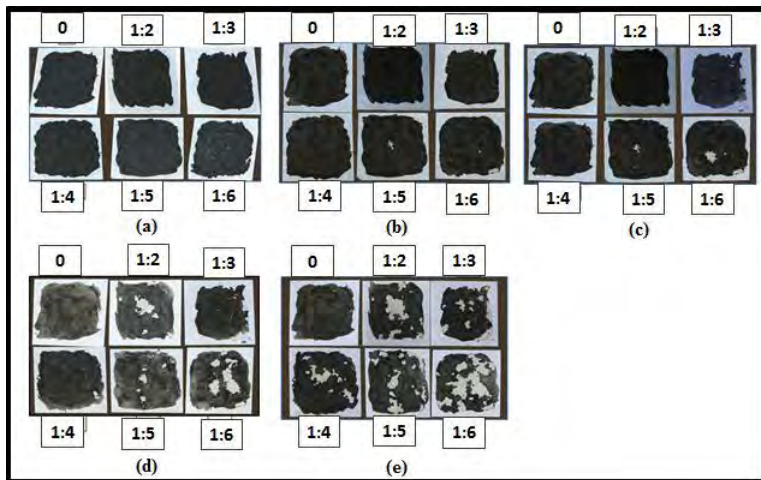
Gambar 4.7 Kondisi sampel setelah disemprot pasca penjemuran dibawah lampu UV
 (a) Sebelum dijemur,
 (b) Setelah dijemur selama 1 hari,
 (c) Setelah dijemur selama 2 hari,
 (d) Setelah dijemur selama 3 hari,
 (e) Setelah dijemur selama 4 hari.



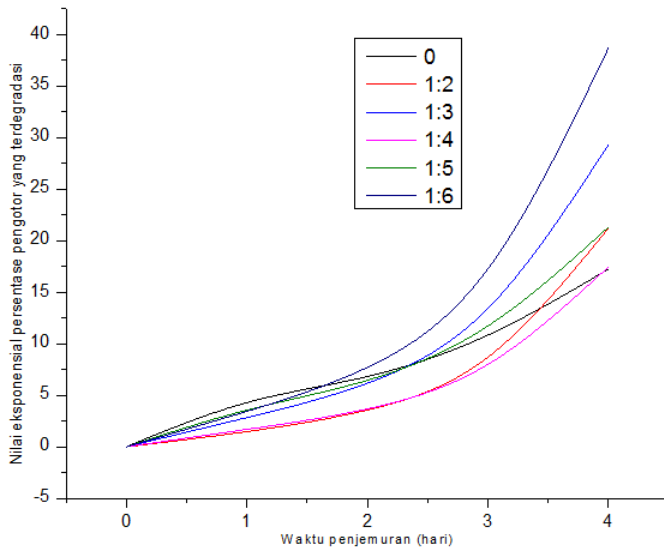
Gambar 4.8 Pengaruh waktu penjemuran terhadap persentase luas pengotor yang terdegradasi di bawah lampu UV

Pada gambar 4.7 sampel pada kondisi di bawah lampu UV juga terlihat pengotor berkurang dari penjemuran 10 jam gambar 4.7(a) sampai 40 jam gambar 4.7(f). Akan tetapi sisa pengotor pada sampel masih terlihat banyak dibandingkan pada sampel gambar 4.5.

Gambar 4.8 merupakan grafik laju degradasi pengotor lumpur pada kondisi di bawah lampu UV. Dari grafik tersebut dapat diketahui sampel 3 dan sampel 6 mengalami luas pengotor yang terdegradasi secara konstan dan cukup besar. Sedangkan pada sampel 0, 2, 4 dan 6 mengalami luas pengotor yang terdegradasi sangat kecil.



Gambar 4.9 Kondisi sampel setelah disemprot pasca penjemuran di dalam ruangan
 (a) Sebelum dijemur,
 (b) Setelah dijemur selama 1 hari,
 (c) Setelah dijemur selama 2 hari,
 (d) Setelah dijemur selama 3 hari,
 (e) Setelah dijemur selama 4 hari.



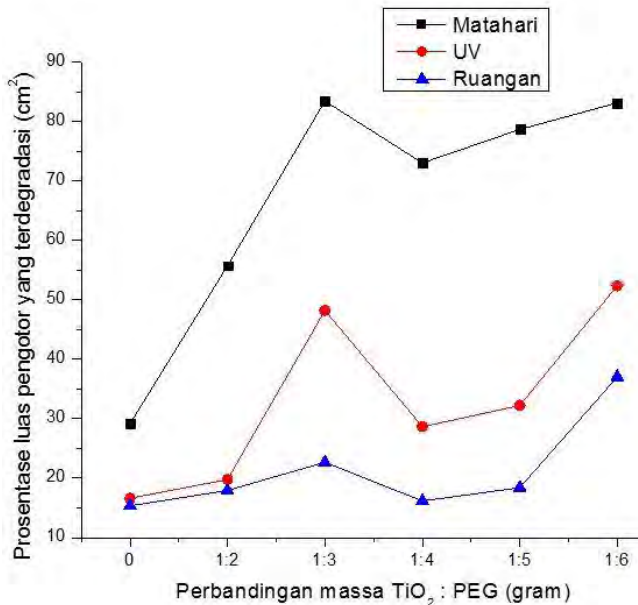
Gambar 4.10 Pengaruh waktu penjemuran terhadap persentase luas pengotor yang terdegradasi di dalam ruangan

Gambar 4.9 menunjukkan sampel pada kondisi dalam ruangan mengalami pengurangan pengotor yang sangat sedikit dibandingkan pada sampel gambar 4.5 dan gambar 4.7. Setelah 40 jam penjemuran jika diperhatikan, pengotor yang ada pada sampel masih terlihat banyak. Dan pada sampel tanpa TiO_2 , terlihat bahwa kotoran masih ada bahkan cenderung tidak berkurang.

Gambar 4.10 merupakan luas pengotor yang terdegradasi pada kondisi dalam ruangan. Dari grafik dapat dilihat bahwa pengotor hanya berkurang sangat sedikit. Degradasi pengotor yang terjadi sangat lambat.

Tabel 4.4 Fungsi pada *Trendline*, Persentase Luas Pengotor yang Terdegradasi dan Laju Degradasi Awal Pengotor

Kondisi	Massa TiO ² :PEG	Persentase luas pengotor yang terdegradasi (%)	Laju degradasi awal pengotor (cm ² /menit)	<i>Trendline</i>
Matahari	0	29,19	0,0085	$73,528e^{-0,01x}$
	1 : 2	55,71	0,016	$79,548e^{-0,018x}$
	1 : 3	83,43	0,023	$85,462e^{-0,039x}$
	1 : 4	73,03	0,0199	$78,506e^{-0,029x}$
	1 : 5	78,66	0,0249	$92,998e^{-0,036x}$
	1 : 6	83,11	0,0257	$100,75e^{-0,041x}$
UV	0	16,63	0,00499	$75,926e^{-0,048x}$
	1 : 2	19,77	0,00547	$69,958e^{-0,052x}$
	1 : 3	48,19	0,0137	$87,409e^{-0,173x}$
	1 : 4	28,66	0,00885	$82,642e^{-0,081x}$
	1 : 5	32,23	0,00969	$78,795e^{-0,101x}$
	1 : 6	52,38	0,0155	$87,987e^{-0,188x}$
Indoor	0	15,36	0,0045	$73,615e^{-0,043x}$
	1 : 2	17,93	0,00511	$74,104e^{-0,051x}$
	1 : 3	22,67	0,00559	$65,316e^{-0,07x}$
	1 : 4	16,16	0,00491	$77,88e^{-0,044x}$
	1 : 5	18,41	0,00585	$81,775e^{-0,054x}$
	1 : 6	37,02	0,0119	$92,313e^{-0,112x}$



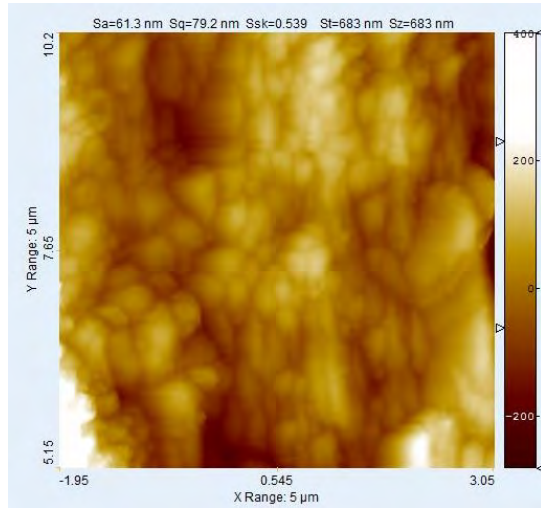
Gambar 4.11 Pengaruh perbandingan massa TiO_2 : PEG terhadap persentase luas pengotor yang terdegradasi pada semua kondisi

Pada gambar 4.11 merupakan grafik yang menunjukkan adanya pengaruh perbandingan massa TiO_2 : PEG terhadap persentase luas pengotor yang terdegradasi pada semua kondisi. Semakin banyak PEG yang ditambahkan akan semakin tinggi pengotor yang terdegradasi. Dan pada penjemuran di bawah sinar matahari memiliki persentase luas pengotor yang terdegradasi yang paling tinggi.

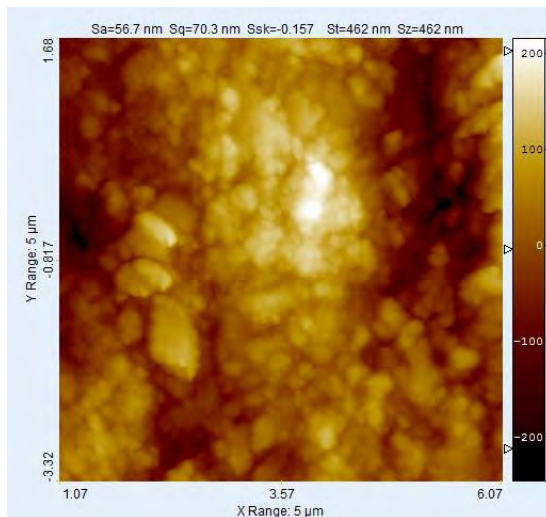
4.4.2 Pengujian dispersi TiO_2 pada cat dengan *Atomic Force Microscope* (AFM)

Pengujian dispersi TiO_2 dilakukan pada sampel dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG yaitu 1:3, 1:4, dan 1:6. Untuk mengetahui dispersi TiO_2 digunakan ImageJ untuk mengukur luas

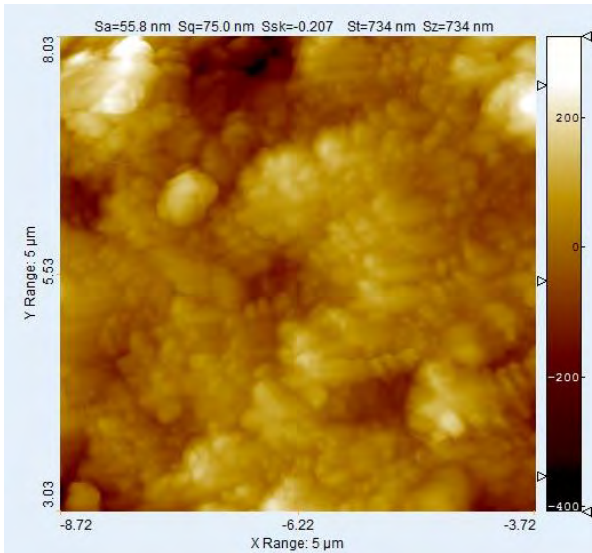
partikel TiO_2 , persentase partikel TiO_2 , dan luas rata-rata partikel TiO_2 .



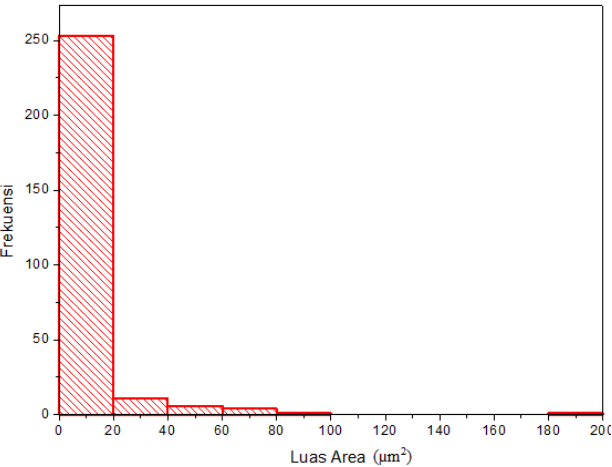
Gambar 4.12 Hasil pengujian AFM TiO_2 dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG = 1 : 3



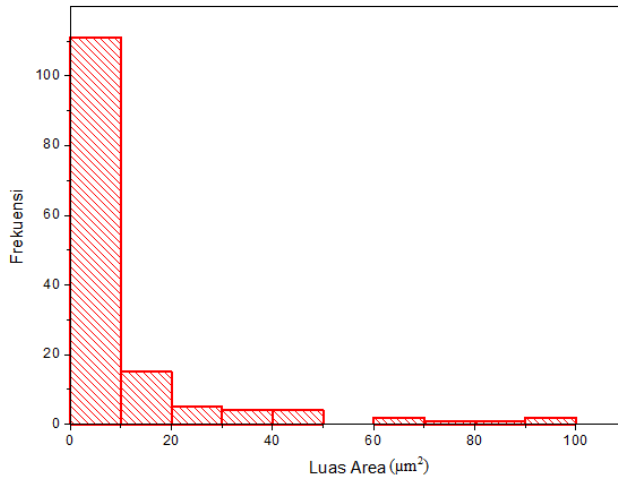
Gambar 4.13 Hasil pengujian AFM TiO₂ dengan perbandingan massa TiO₂ : PEG = 1 : 4



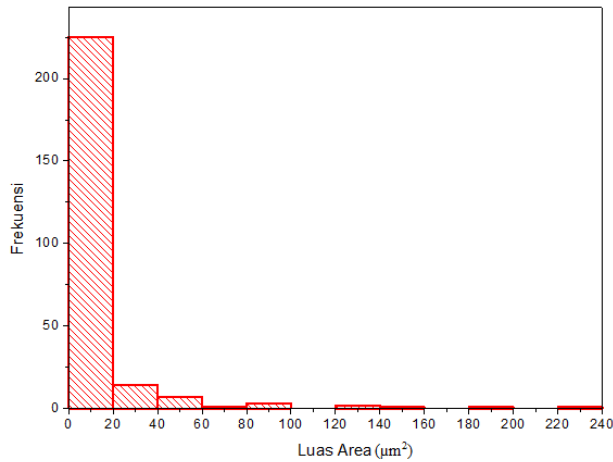
Gambar 4.14 Hasil pengujian AFM TiO₂ dengan perbandingan massa TiO₂ : PEG = 1 : 6



Gambar 4.15 Grafik distribusi frekuensi luas area TiO_2 dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG = 1 : 3



Gambar 4.16 Grafik distribusi frekuensi luas area TiO_2 dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG = 1 : 4



Gambar 4.17 Grafik distribusi frekuensi luas area TiO_2 dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG = 1 : 6

Tabel 4.5 Hasil Pengolahan Citra Pengujian AFM

Massa TiO ₂ : PEG	Luas partikel TiO ₂ (μm^2)	Luas rata-rata partikel TiO ₂ (μm^2)	Persentase partikel TiO ₂ (%)
1 : 3	1786	77,1	59,53
1 : 4	1321	67,09	44,03
1 : 6	2544	75,81	63,6

Pada tabel 4.6 menunjukan dari ketiga sampel dengan variasi massa dispersant PEG bahwa sampel dengan perbandingan massa TiO₂ : PEG sebesar 1:6, memiliki distribusi TiO₂ paling tinggi dengan luas rata-rata partikel adalah 75,81 (μm^2), dan luas seluruh partikel TiO₂ yaitu 2544 (μm^2) dengan persentase 63,6%.

4.5 Pembahasan

4.5.1 Pengujian validitas dengan XRD

Pada subbab 4.1 telah dijelaskan hasil pengujian XRD TiO₂. Puncak-puncak yang terbentuk pada setiap fase digolongkan termasuk fase anatase atau fase rutile berdasarkan nilai 2θ . Dari hasil yang telah dilakukan, TiO₂ yang dikalsinasi pada temperatur 400°C selama 4 jam. Dari pemanasan tersebut diperoleh serbuk TiO₂ yang bersifat amorf dan tidak ada puncak yang muncul, sehingga tidak dapat ditentukan ukuran partikelnya. Oleh karena itu dilakukan pemanasan kembali pada suhu 500°C selama 2 jam telah berhasil menjadi fase anatase. Puncak-puncak yang muncul pada TiO₂ fase anatase yaitu 25,52°, 48,23°, 73,11° sesuai dengan standar acuan JCPDS 00-021-1272 dan 00-004-0551.

Untuk TiO₂ yang dikalsinasi pada temperatur 1000°C selama 7 jam menghasilkan fase rutile dan memiliki puncak-puncak pada sudut 2θ dengan 27,41°, 36,07°, 39,24°, 41,28°, 44,12°, 54,38°, 56,61°, 62,76°, 64,12°, 69,83°, 72,52° sesuai dengan standar acuan JCPDS 00-21-1276. Selain dapat melihat

fase yang terbentuk, dari gambar 4.1 dan gambar 4.2 dapat dihitung ukuran kristalnya.

Ukuran kristal untuk TiO_2 fasa anatase memiliki ukuran partikel sebesar 7-15 nm. Sedangkan ukuran kristal untuk TiO_2 fasa rutil memiliki ukuran partikel sebesar 80-99 nm. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa ukuran kristal untuk fase anatase lebih kecil dibandingkan dengan ukuran kristal fase rutil.

4.5.2 Pengujian validitas dengan FTIR

Pengujian FTIR dari TiO_2/PEG bertujuan untuk mengetahui jenis ikatan yang terbentuk antara TiO_2 dengan PEG. Dari hasil pengujian tersebut dapat diketahui adanya beberapa gugus fungsi yang terjadi pada panjang gelombang tertentu yang ditunjukkan dengan puncak gelombang pada gambar 4.3. Puncak gelombang yang terjadi kemudian dibandingkan dengan data referensi pada tabel 4.1 dan tabel 4.2.

Untuk mengetahui adanya unsur PEG dapat ditunjukkan dengan adanya serapan ikatan C-C, C-H, serta C-O pada bilangan gelombang 1400 cm^{-1} - 1030 cm^{-1} . (Hani, 2011). Pada tabel 4.2 ikatan C-C terdapat pada bilangan gelombang 950 cm^{-1} , ikatan C-H terdapat pada bilangan gelombang 1470 cm^{-1} dan ikatan C-O terdapat pada bilangan gelombang 1100 cm^{-1} .

Gambar 4.3 merupakan hasil pengujian FTIR suspensi TiO_2/PEG yang menunjukkan adanya puncak-puncak pada bilangan gelombang 1080 cm^{-1} , 1200 cm^{-1} , 1630 cm^{-1} , dan 3300 cm^{-1} pada sampel dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG sebesar 1:2 dan 1: 3. Dengan adanya puncak-puncak pada bilangan gelombang tersebut maka sampel memiliki ikatan (H-OH), (Ti-OH), (Ti-O-O) dan (C-O). Hal tersebut menunjukkan bahwa proses pembuatan suspensi TiO_2/PEG 6000 telah berhasil dilakukan dan telah terjadi ikatan antara TiO_2 dan PEG.

Pada sampel dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG sebesar 1:4, 1:5 dan 1:6 memiliki puncak lebih banyak yaitu pada bilangan gelombang 940 cm^{-1} , 1080 cm^{-1} , 1200 cm^{-1} , 1630 cm^{-1} , dan 3300 cm^{-1} . Dengan adanya puncak-puncak pada bilangan

gelombang tersebut maka sampel memiliki ikatan (H–OH), (Ti–OH), (Ti–O–O), (C–O) dan (C–C). Dengan adanya ikatan (C–C) maka semakin terlihat adanya ikatan antara TiO_2 dengan PEG. Oleh sebab itu semakin banyak penambahan PEG pada suspensi TiO_2 maka semakin terlihat adanya ikatan dengan PEG.

4.5.3 Pengujian sudut kontak

Pada gambar 4.4 menunjukkan hasil pengukuran sudut kontak pada permukaan cat batu gamping murni dan cat yang dicampur dengan TiO_2 . Semakin kecil sudut kontak pada permukaan cat atau mendekati 0° maka cat semakin bersifat hidrofilik. Dari gambar terlihat bahwa cat dengan penambahan TiO_2 memiliki sudut kontak air yang lebih kecil dibandingkan dengan cat murni. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi dari TiO_2 : PEG yang dicampurkan pada cat berpengaruh terhadap sudut kontak yang dibentuk. Semakin banyak PEG yang ditambahkan, semakin kecil nilai sudut kontak dari permukaan cat. Sesuai dengan penelitian yang dilaporkan oleh J.Yu et al (2001) yang meneliti tentang superhidrofilik film menggunakan *dispersant* PEG dengan variasi berat molekulnya. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa sudut kontak menurun dengan semakin banyaknya jumlah PEG yang digunakan. Sementara pada lapisan TiO_2 yang tidak menggunakan PEG memiliki sudut kontak yang terbesar. Hal ini dikarenakan tidak adanya gugus hidroksil, sehingga air tidak dapat masuk dalam area interior lapisan film.

Kemudian nilai sudut kontak yang dihasilkan pada sampel dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG sebesar 1 : 6 gram yaitu sebesar 7° untuk pengukuran di bawah sinar matahari, $9,5^\circ$ untuk pengukuran di teras, dan 12° untuk pengukuran di dalam ruangan dengan penerangan lampu. Sampel cat murni (tanpa TiO_2) pada kondisi di bawah matahari, memiliki nilai sudut kontak paling kecil diantara sampel cat murni pada kondisi di teras dan di dalam ruangan. Hal tersebut dapat disebabkan karena saat ditetaskan air, permukaan cat telah mengering, sehingga air cepat meresap ke dalam permukaan cat.

Berdasarkan hasil yang didapat, kondisi pengukuran juga sangat berpengaruh terhadap sudut kontak yang dihasilkan, dimana ketiga kondisi yang digunakan mendapatkan pancaran sinar matahari yang berbeda-beda. Nilai sudut kontak untuk tempat yang terkena sinar matahari langsung memiliki sudut kontak yang terkecil, hal tersebut dikarenakan TiO_2 saat mengenai sinar matahari akan mengalami proses fotokatalisis dimana dengan adanya proses tersebut yang akan membuat sudut kontak air akan semakin mengecil sehingga menjadi semakin hidrofilik.

4.5.4 Pengujian *self cleaning*

Pada penelitian ini, pengolahan citra menggunakan *software* ImageJ dilakukan untuk mengetahui ukuran partikel yang ada pada gambar sampel yang akan diolah yaitu nilai luas sisa pengotor dan persentase luas pengotor yang terdegradasi.

Pada pengujian *self cleaning* dapat dilihat sampel yang paling bersih adalah sampel keenam pada gambar 4.4 dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG sebesar 1 : 6. Berdasarkan hasil pengolahan citra dengan *software* ImageJ dapat diperoleh nilai laju degradasi pengotor lumpur seperti pada tabel 4.4. Dari tabel 4.5, sampel dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG sebesar 1 : 6 pada kondisi di bawah sinar matahari memiliki persentase luas pengotor yang terdegradasi paling tinggi yaitu 16.566%. Hal ini menunjukkan proses degradasi pengotor pada komposisi tersebut berlangsung lebih baik dan lebih cepat dibandingkan dengan sampel yang lain.

Dari tabel 4.5 terlihat bahwa seluruh sampel memiliki fungsi eksponensial negatif [$m(t) = m_0 \exp^{-ax(t)}$]. Semakin negatif nilai a maka semakin cepat grafik menurun mendekati sumbu x . Dari tabel 4.7 sampel dengan perbandingan TiO_2 : PEG sebesar 1: 6 pada setiap kondisi, memiliki nilai a paling negatif yaitu -0,41, -0,188 dan -0,112. Hal ini menunjukkan proses degradasi pengotor pada komposisi tersebut berlangsung lebih baik dan lebih cepat dibandingkan dengan sampel yang lain pada setiap kondisi.

Gambar 4.11 menunjukkan pola grafik persentase luas pengotor yang terdegradasi pada sampel di semua kondisi, terlihat bahwa pola grafik pada kondisi di bawah sinar matahari memiliki pola yang sama dengan pola grafik pada kondisi di bawah lampu UV dan dalam ruangan. Nilai laju degradasi pengotor tertinggi yaitu pada sampel dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG sebesar 1 : 6. Nilai laju degradasi paling rendah yaitu pada sampel 0 (cat gamping murni tanpa TiO_2). Dari gambar 4.5, gambar 4.7 dan gambar 4.9 kotoran yang ada pada sampel 0 (tanpa TiO_2) masih ada bahkan cenderung tidak berkurang. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan TiO_2 pada cat akan memberikan kemampuan *self cleaning* terhadap cat. Sedangkan cat batu gamping murni tidak mampu untuk membersihkan kotoran yang ada pada cat itu sendiri (kemampuan *self cleaning*). Kemampuan *self cleaning* terbaik yaitu pada sampel keenam dengan laju degradasi 0,0257 (cm^2/menit). Semakin banyak *dispersant* yang ditambahkan maka semakin baik kemampuan *self cleaning* yang dimiliki. Akan tetapi pada sampel keempat dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG sebesar 1 : 4, memiliki sudut kontak dan *self cleaning* yang kurang baik, hal tersebut dapat dimungkinkan adanya penggumpalan pada TiO_2 sebelum dilakukan preparasi suspensi TiO_2/PEG .

Berdasarkan hasil yang diperoleh, kondisi penjemuran juga sangat berpengaruh terhadap *self cleaning* yang dihasilkan, dimana ketiga kondisi yang digunakan mendapatkan sinar UV yang berbeda-beda. Nilai persentase luas pengotor yang terdegradasi untuk tempat yang terkena sinar matahari langsung, memiliki persentase pengotor yang terbesar, hal tersebut dikarenakan semakin banyak sinar UV yang mengenai TiO_2 , semakin baik dalam proses fotokatalisis. Pada kondisi penjemuran di bawah matahari, intensitas matahari juga berpengaruh terhadap proses fotokatalisis. Dalam proses fotokatalisis, transisi elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada TiO_2 memerlukan sinar UV pada panjang gelombang sekitar 340–415 nm, intensitas sinar UV pada matahari 10 W/m^2 (Fujishima, 1999). Pada lampiran D terdapat hasil pengukuran nilai intensitas matahari.

Pada pukul 6.00 memiliki intensitas matahari lebih dari 20 W/m^2 , dapat dikatakan bahwa dari pukul 6.00 sudah bisa dilakukan proses fotokatalisis. Akan tetapi semakin besar nilai intensitas sinar matahari, akan semakin baik dalam proses fotokatalisis. Berdasarkan nilai intensitas matahari pada lampiran D, nilai yang paling efektif dalam melakukan penjemuran untuk proses fotokatalisis yaitu pada pukul 9.00 sampai 13.00 dengan intensitas matahari sebesar 700 W/m^2 - 900 W/m^2 .

4.5.5 Pengujian dispersi TiO_2 dengan AFM

Hasil pengujian dispersi TiO_2 menggunakan *atomic force microscope* (AFM) ditunjukkan gambar 4.12, gambar 4.13 dan gambar 4.14. Pada gambar dapat diketahui bahwa bagian yang memiliki intensitas lebih tinggi (berwarna putih) merupakan TiO_2 (Hasan, 2008). Oleh karena itu untuk mengetahui nilai dispersi TiO_2 maka dilakukan pengolahan citra dengan *software* ImageJ untuk mengetahui nilai luas partikel TiO_2 , persentase partikel TiO_2 , dan luas rata-rata partikel TiO_2 pada bagian gambar hasil AFM yang intensitasnya lebih tinggi. Pengujian dispersi TiO_2 dilakukan pada tiga sampel yaitu sampel dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG sebesar 1 : 3, 1 : 4 dan 1:6.

Dari gambar 4.15, gambar 4.16, gambar 4.17 dan tabel 4.6 dapat diketahui bahwa distribusi luas partikel TiO_2 untuk sampel dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG sebesar 1 : 3 terbesar terdapat pada ukuran $20\mu\text{m}^2$ dengan jumlah 255, dan persentase partikel TiO_2 59,53%. Sampel dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG sebesar 1 : 4 terbesar terdapat pada ukuran $10\mu\text{m}^2$ dengan jumlah 100, dan persentase partikel TiO_2 44,03%. Sedangkan sampel dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG sebesar 1 : 6 terbesar terdapat pada ukuran $20\mu\text{m}^2$ dengan jumlah 230 dan persentase partikel TiO_2 63,6%.

Pada tabel 4.6 menunjukkan dari ketiga sampel dengan variasi massa *dispersant* PEG bahwa sampel dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG sebesar 1:6, memiliki distribusi TiO_2 paling tinggi dengan luas rata-rata partikel adalah 75,81

μm^2 , dan luas seluruh partikel TiO_2 yaitu $2544 \mu\text{m}^2$ dengan persentase 63,6%.

Sampel dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG sebesar 1:6 memiliki sifat *self cleaning* yang paling baik dengan persentase pengotor yang terdegradasi 83,11%, disebabkan distribusi TiO_2 pada permukaan film cat tersebut lebih merata. Sedangkan pada sampel dengan perbandingan massa TiO_2 : PEG sebesar 1:4 memiliki sifat *self cleaning* yang kurang baik dengan persentase pengotor yang terdegradasi hanya 16,16% dan luas distribusi TiO_2 yang kecil yaitu $1321 \mu\text{m}^2$. Hal tersebut menunjukkan bahwa distribusi TiO_2 berpengaruh terhadap kemampuan *self cleaning* cat. Distribusi TiO_2 pada permukaan film cat akan mempengaruhi proses fotokatalis yang terjadi, semakin merata distribusi TiO_2 , semakin mengurangi terjadinya aglomerasi (penggumpalan), maka proses fotokatalis akan menjadi semakin baik. Semakin banyak jumlah PEG yang ditambahkan, semakin menghalangi penggumpalan yang terjadi pada sesama partikel TiO_2 , terhalangnya penggumpalan partikel TiO_2 menyebabkan luas partikel TiO_2 semakin besar, yang nantinya akan meningkatkan aktivitas fotokatalis TiO_2 .

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan, dengan adanya penambahan TiO_2 dan *dispersant* PEG6000 cukup signifikan untuk meningkatkan kemampuan *self cleaning* cat tembok batu gamping dengan karakteristik yaitu:

- Kemampuan *self cleaning* tertinggi untuk semua kondisi penyinaran proses fotokatalisis diperoleh pada sampel dengan komposisi TiO_2 dan PEG sebesar 1: 6.
- Nilai sudut kontak terkecil 7° , persentase luas pengotor yang terdegradasi tertinggi 83,11% dan laju degradasi pengotor tertinggi $0,0257 \text{ cm}^2/\text{menit}$.
- Sampel dengan komposisi TiO_2 dan PEG sebesar 1: 6 memiliki distribusi TiO_2 lebih merata dengan luas rata-rata partikel adalah $75,81 \mu\text{m}^2$, dan luas seluruh partikel TiO_2 yaitu $2544 \mu\text{m}^2$ dengan persentase 63,6%.

5.2 Saran

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, adapun saran yang dapat dikemukakan dalam tugas akhir antara lain:

- TiO_2 yang akan dicampurkan pada suspensi dengan PEG dan aquades, sebaiknya diayak terlebih dahulu agar tidak terjadi penggumpalan.
- Pengambilan data sisa pengotor pada sampel dilakukan lebih intensif lagi dalam setiap 3 atau 5 jam, agar laju degradasi pengotor lebih terlihat jelas.
- Perlu adanya penelitian lebih lanjut pada uji *self cleaning*, sampel tidak perlu dilakukan penyemprotan air. Agar hasil yang diperoleh tepat dari proses fotokatalisis.

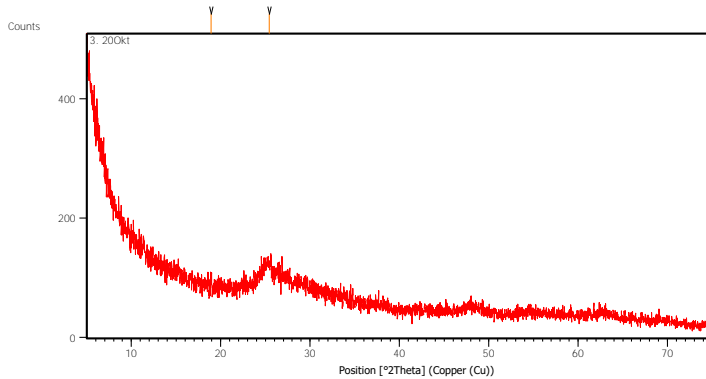
Halaman ini memang dikosongkan.

LAMPIRAN A

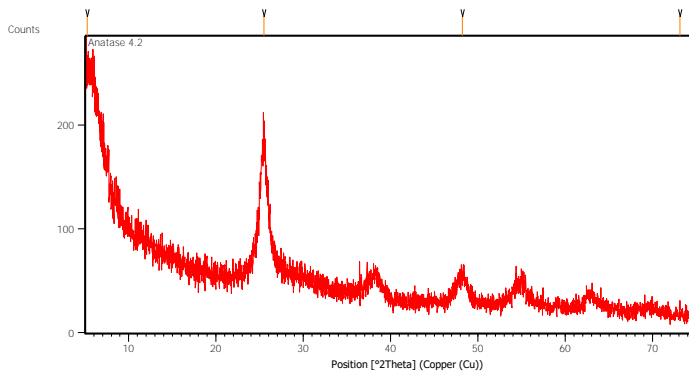
Uji XRD TiO_2

Hasil XRD TiO_2 Fasa *Anatase* dan *Rutile*

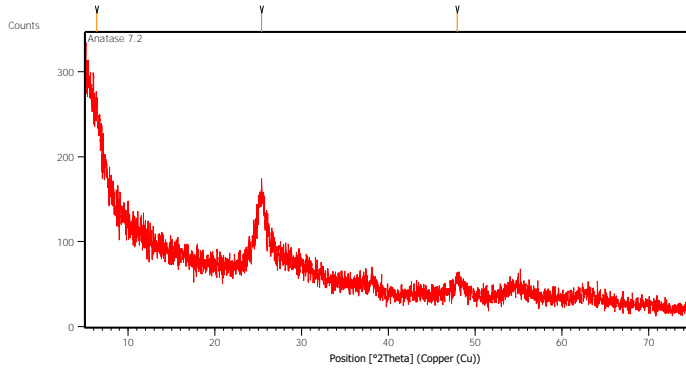
- Fasa *Anatase*



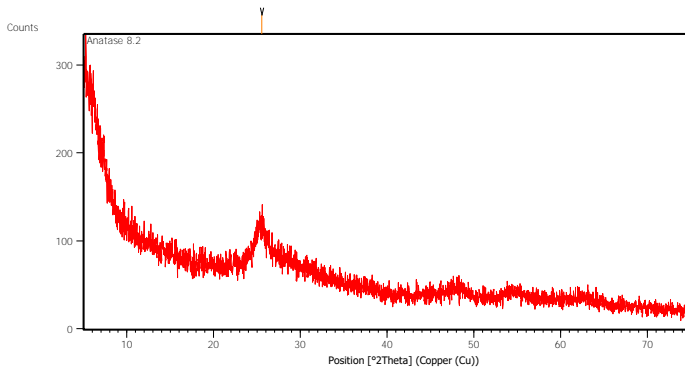
Sampel 1. Dipanaskan 400^0C selama 4 jam dengan ukuran partikel 10.026 nm



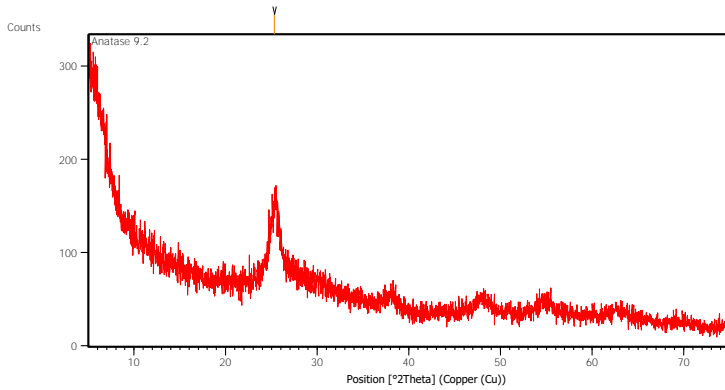
Sampel 2. Dipanaskan 400^0C selama 4 jam dan dipanaskan ulang 500^0C selama 2 jam dengan ukuran partikel 15.04 nm



Sampel 3. Dipanaskan 400°C selama 4 jam dan dipanaskan ulang 500°C selama 2 jam dengan ukuran partikel 12.03 nm

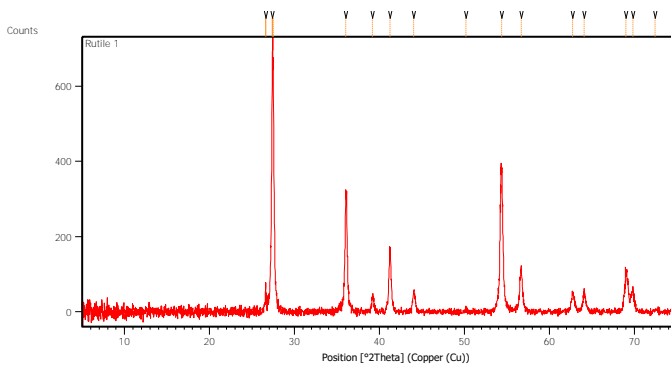


Sampel 4. Dipanaskan 400°C selama 4 jam dan dipanaskan ulang 500°C selama 2 jam dengan ukuran partikel 7.05 nm

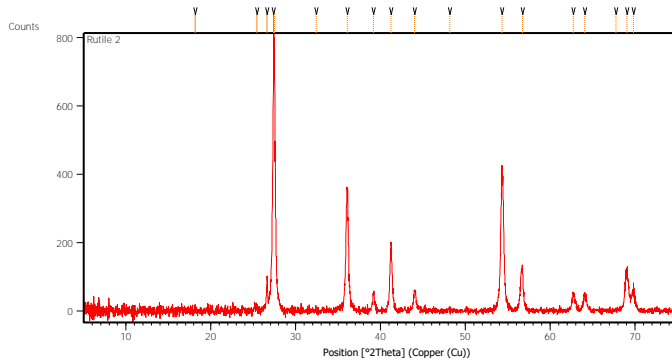


Sampel 5. Dipanaskan 400⁰C selama 4 jam dan dipanaskan ulang 500⁰C selama 2 jam dengan ukuran partikel 7.04 nm

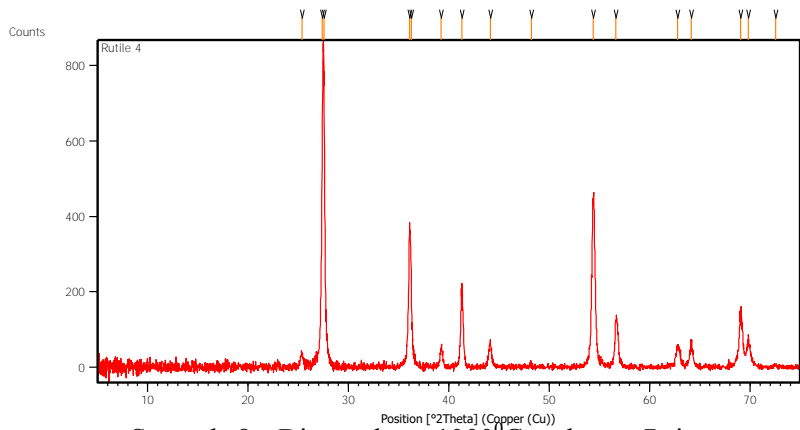
- **Fasa Rutile**



Sampel 6. Dipanaskan 1000⁰C selama 7 jam dengan ukuran partikel 99.073 nm

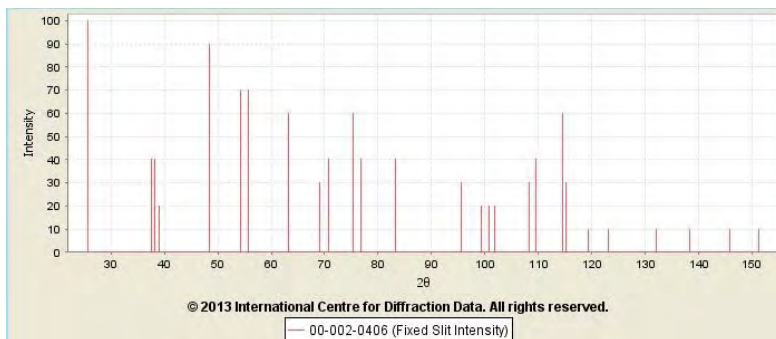


Sampel 7. Dipanaskan 1000°C selama 7 jam
dengan ukuran partikel 99.054 nm



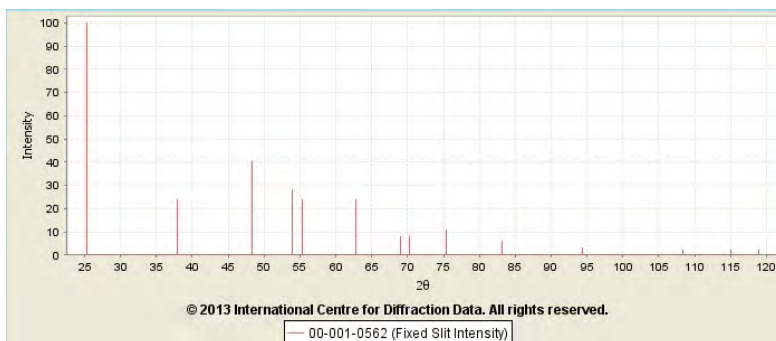
Sampel 8. Dipanaskan 1000°C selama 7 jam
dengan ukuran partikel 80.508 nm

TiO₂ Fase *Anatase* (JCPDS 21-1272)



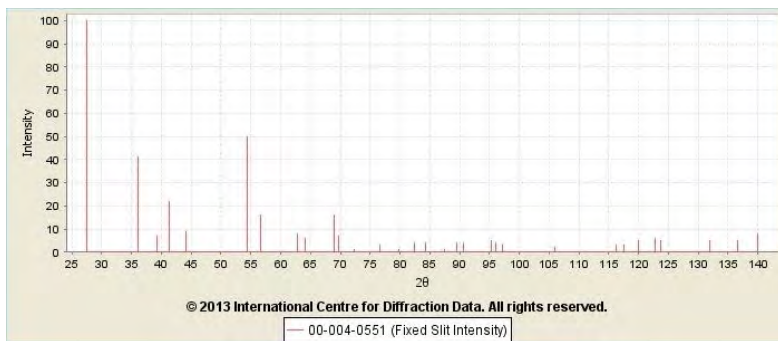
2θ	d(Å)	Intensity	h	k	l
25.6510	3.470000	100	1	0	1
37.6033	2.390000	40	0	0	4
38.2680	2.350000	40			
38.9572	2.310000	20	1	1	2
48.3749	1.880000	90	2	0	0
54.2312	1.690000	70	1	0	5
55.6583	1.650000	70	2	1	1
63.2019	1.470000	60	2	0	4
68.9967	1.360000	30	1	1	6
70.7827	1.330000	40	2	2	0
75.3719	1.260000	60	2	1	5
76.8067	1.240000	40			
83.2166	1.160000	40	3	1	2
95.5743	1.040000	30	3	2	1
99.3974	1.010000	20			

TiO₂ Fase *Anatase* (JCPDS 04-0551)



2θ	d(Å)	Intensity	h	k	l
25.2806	3.520000	100	1	0	1
37.9327	2.370000	24	1	0	3
48.3749	1.880000	40	2	0	0
53.8863	1.700000	28	1	0	5
55.2942	1.660000	24			
62.7262	1.480000	24	2	1	3
68.9967	1.360000	8	1	1	6
70.1763	1.340000	8			
75.3719	1.260000	11	1	0	7
83.2166	1.160000	6	3	0	3
94.3781	1.050000	3	3	1	4
108.3525	0.950000	2	3	1	6
115.0616	0.913000	2	4	0	2
118.9958	0.894000	2	4	1	1

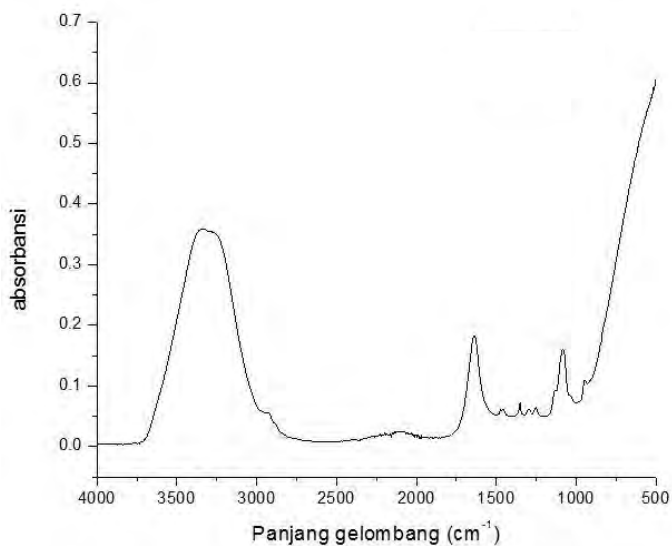
TiO₂ Fase *Rutile* (JCPDS 21-1276)



2θ	d(Å)	Intensity	h	k	l
27.4633	3.245000	100	1	1	0
36.0550	2.489000	41	1	0	1
39.1866	2.297000	7	2	0	0
41.2252	2.188000	22	1	1	1
44.0504	2.054000	9	2	1	0
54.3355	1.687000	50	2	1	1
56.6289	1.624000	16	2	2	0
62.7262	1.480000	8	0	0	2
64.0286	1.453000	6	3	1	0
68.9967	1.360000	16	3	0	1
69.7585	1.347000	7	1	1	2
72.3499	1.305000	1	3	1	1
76.5876	1.243000	3	2	0	2
79.8673	1.200000	1	2	1	2
82.3497	1.170000	4	3	2	1
84.2397	1.148500	4	4	0	0
87.4907	1.114000	1	4	1	0
89.5857	1.093300	4	2	2	2
90.7050	1.082700	4	3	3	0

LAMPIRAN B

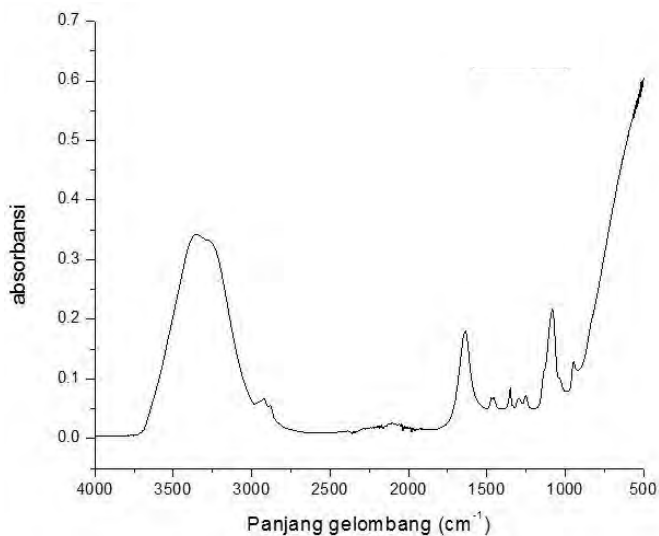
Hasil Uji FTIR



Hasil uji FTIR pada sampel dengan perbandingan massa
TiO₂:PEG = 1: 2

Hasil Serapan Spektra FTIR TiO₂/PEG dengan perbandingan
massa TiO₂:PEG = 1: 2

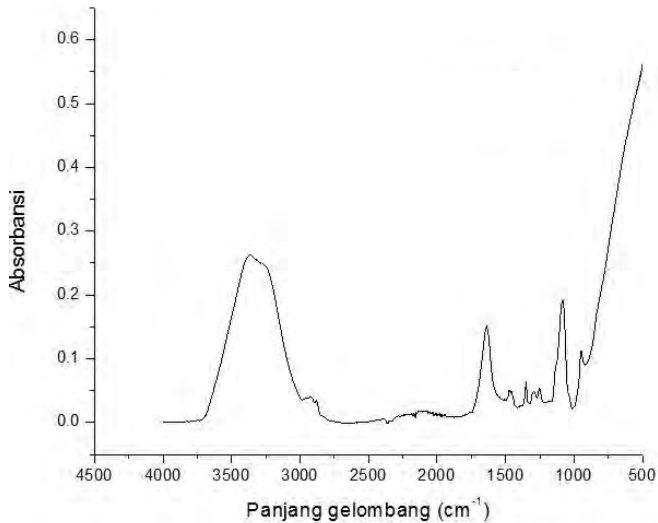
TiO ₂ : PEG	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Absorbansi
1:2	3339.282	0.35891
	1636.856	0.18351
	1349.984	0.07264
	1252.11	0.06411
	1081.434	0.16073



Hasil uji FTIR pada sampel dengan perbandingan massa
 $\text{TiO}_2\text{:PEG} = 1:3$

Hasil Serapan Spektra FTIR $\text{TiO}_2\text{/PEG}$ dengan perbandingan
 massa $\text{TiO}_2\text{:PEG} = 1:3$

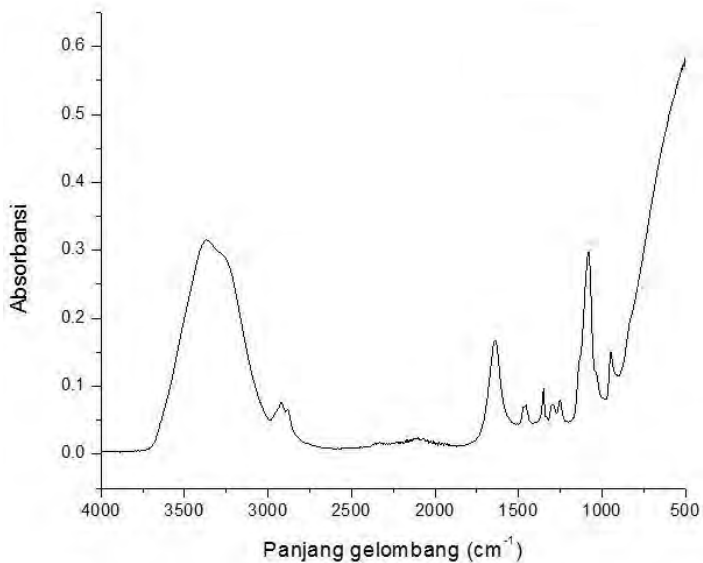
$\text{TiO}_2 : \text{PEG}$	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Absorbansi
1:3	3354.228	0.34251
	1636.374	0.18026
	1456.536	0.06888
	1349.02	0.08462
	1251.628	0.07132
	1080.952	0.21731



Hasil uji FTIR pada sampel dengan perbandingan massa $\text{TiO}_2\text{:PEG} = 1:4$

Hasil Serapan Spektra FTIR $\text{TiO}_2\text{/PEG}$ dengan perbandingan massa $\text{TiO}_2\text{:PEG} = 1:4$

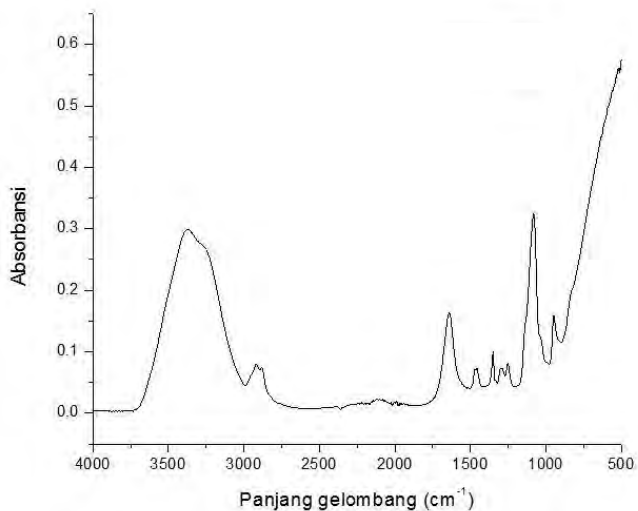
$\text{TiO}_2 : \text{PEG}$	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Absorbansi
1:4	3357.603	0.26269
	1636.374	0.15076
	1473.411	0.0509
	1349.02	0.0639
	1251.628	0.05347
	1084.327	0.19179
	947.8817	0.11228



Hasil uji FTIR pada sampel dengan perbandingan massa
TiO₂:PEG = 1: 5

Hasil Serapan Spektra FTIR TiO₂/PEG dengan perbandingan
massa TiO₂:PEG = 1: 5

TiO ₂ : PEG	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Absorbansi
1:5	3369.657	0.26245
	2919.341	0.04057
	1636.374	0.15076
	1456.536	0.04869
	1349.02	0.0639
	1251.628	0.05347
	1084.327	0.19179
	946.9174	0.14967



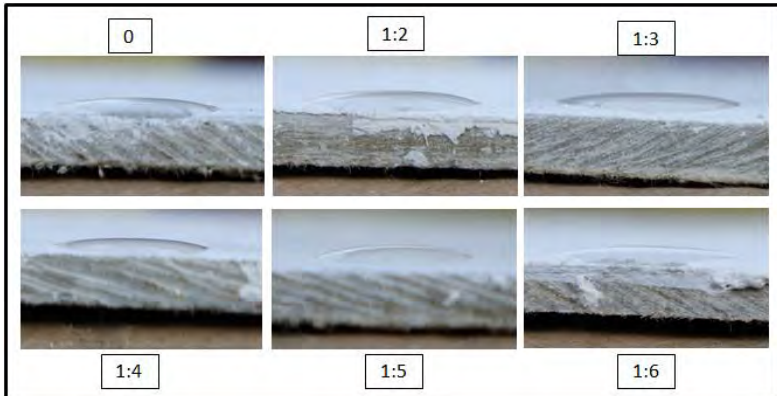
Hasil uji FTIR pada sampel dengan perbandingan massa
TiO₂:PEG = 1: 6

Hasil Serapan Spektra FTIR TiO₂/PEG dengan perbandingan
massa TiO₂:PEG = 1: 6

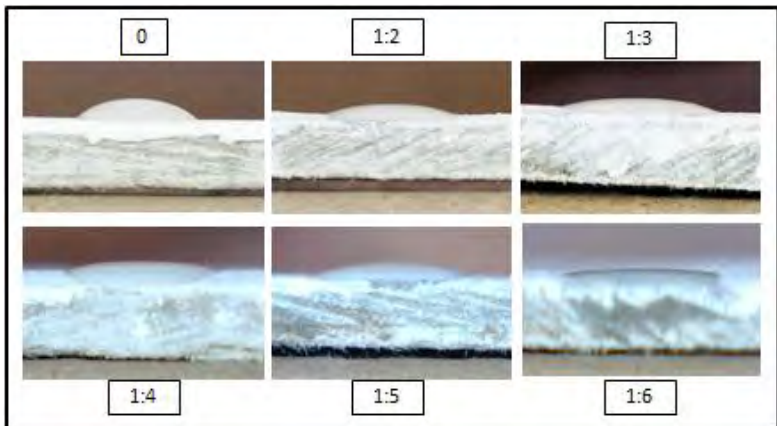
TiO ₂ : PEG	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Absorbansi
1:6	3372.55	0.2994
	2918.376	0.07986
	1637.338	0.16288
	1456.054	0.07302
	1349.02	0.10099
	1251.146	0.08113
	1080.952	0.32489
	946.9174	0.15896

LAMPIRAN C

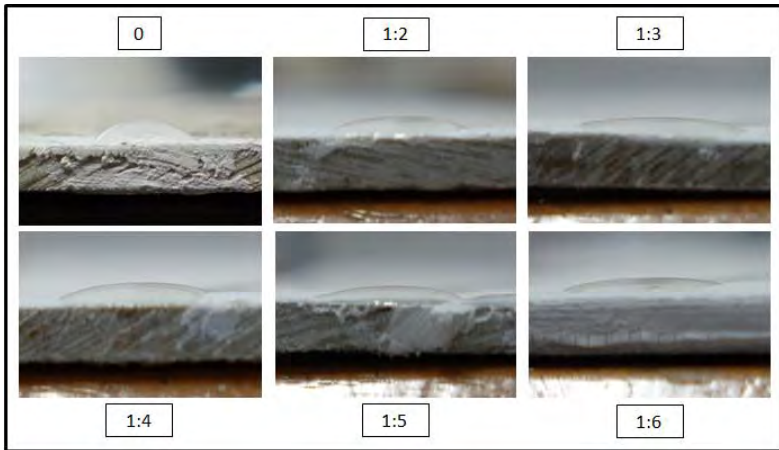
Pengujian Sudut Kontak



Sampel Uji Sudut Kontak dengan Kondisi Di Bawah Sinar Matahari



Sampel Uji Sudut Kontak dengan Kondisi Di Teras



Sampel Uji Sudut Kontak dengan Kondisi Di Dalam Ruangan

LAMPIRAN D
Nilai Intensitas Matahari Bulan November

Data Intensitas Matahari Hari Pertama (23 November 2015)

No	Pukul	<i>Irradiance (W/m²)</i>
1.	06.00	34
2.	07.00	276,2534845
3.	08.00	399,2339854
4.	09.00	779.9442897
5.	10.00	891.3649025
6.	11.00	961.0027855
7.	12.00	967.9665738
8.	13.00	884.4011142
9.	14.00	724.2339833
10.	15.00	547.3537604
11.	16.00	240.9470752

Data Intensitas Matahari Hari Kedua (24 November 2015)

No	Pukul	<i>Irradiance (W/m²)</i>
1.	06.00	24
2.	07.00	201
3.	08.00	405
4.	09.00	748.6072423
5.	10.00	807.7994429
6.	11.00	874.6518106
7.	12.00	923.3983287
8.	13.00	756.2674095
9.	14.00	582.1727019
10.	15.00	355.1532033
11.	16.00	104.4568245

Data Intensitas Matahari Hari Ketiga (25 November 2015)

No	Pukul	<i>Irradiance (W/m²)</i>
1.	06.00	43
2.	07.00	328
3.	08.00	642
4.	09.00	902.5069638
5.	10.00	937.3259053
6.	11.00	919.2200557
7.	12.00	832.8690808
8.	13.00	526.4623955
9.	14.00	139.275766
10.	15.00	41.78272981
11.	16.00	902.5069638

Data Intensitas Matahari Hari Keempat (26 November 2015)

No	Pukul	<i>Irradiance (W/m²)</i>
1.	06.00	51
2.	07.00	347
3.	08.00	595
4.	09.00	898.3286908
5.	10.00	908.7743733
6.	11.00	926.183844
7.	12.00	893.454039
8.	13.00	793.8718663
9.	14.00	761.1420613
10.	15.00	405.9888579
11.	16.00	185.2367688

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar. Y. D, 2015. Pengaruh Komposisi TiO_2 Terhadap Kemampuan *Self Cleaning* Pada Kaca Dengan *Dispersant* Polietilen Glikol (PEG) 4000. Tugas Akhir. Teknik Fisika ITS
- Alwin. H. 2011. Studi Pemanfaatan Batu Gamping Di Kabupaten Tapanuli Selatan. Ekskutif Summary. Pemerintah Provinsi Sumatera Utara. Badan Penelitian Dan Pengembangan. Medan.
- Arsyad S. F, Agustina E. T, Yulianti. N, Firmansyah, Anggreini. D, Susanti. R, Abdullah. M. (2012). Pengaruh Nanopartikel Titanium Dioksida (TiO_2) Yang Disintesis Menggunakan Metoda *Simple Heating* Terhadap Kandungan Besi (Fe) Dan Tembaga (Cu) Di Dalam Air Rawa. Prosiding Seminar Nasional Pendidikan 2012, Palembang 26 Juni 2012.
- Kusmahetiningsih N. 2012. “Aplikasi TiO_2 Sebagai *Self Cleaning* pada Cat Tembok dengan *Dispersant* Polietilen Glikol (PEG)”. Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
- M. M. Hasan, et al. 2008. *Effects of Annealing Treatment on Optical Properties of Anatase TiO_2 Thin Films*. International Journal of Chemical and Biological Engineering 1:2 2008.
- Rissa. V, Priatmoko, Harjito. 2012. Sintesis Lapis Tipis Berbasis Nanopartikel Titania Termodifikasi Silika Secara Solgel Sebagai Bahan *Antifogging*. *Jurnal MIPA*. Jurusan Kimia, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.
- Sari L. 2012. Pengaruh Nanopartikel Titanium Dioksida Pada Resin Sebagai Material Transparan Anti UV dan *Self Cleaning Material*. Skripsi. Jurusan Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Andalas Padang.

- Slamet, C.H.D. Alwi, J. Viriya. 2010. Rekayasa Plastik Berlapis Nanokristal TiO_2 Untuk Aplikasi Anti Kabut Dan Swa-Bersih. Departemen Teknik Kimia. Universitas Indonesia.
- Sulasmono. B. 2012. Studi Komparasi Pengaruh Variasi Dispersant Terhadap Stabilitas Suspensi dan Sifat Hidrofilik Nanopartikel TiO_2 Berbasis Air. Tesis. Program Studi Magister Ilmu Kimia.
- Wahyuningtyas. D. R. 2014. Aplikasi Sintesis TiO_2 Dengan Prekursor TiCl_3 Sebagai *Self Cleaning* Pada Cat Tembok Dengan Dispersant PEG 6000. Tugas Akhir. Teknik Fisika ITS
- Wiguna Nugraha E. 2011. Rekayasa Film TiO_2 Super Hidrofilik Untuk Kaca Helm Anti Kabut. Skripsi. Fakultas Teknik. Program Studi Teknik Kimia. Universitas Indonesia

BIODATA PENULIS



Penulis mempunyai nama lengkap Nur Fadhilah, lahir di Kabupaten Sumenep pada tanggal 6 Juni 1994 dan merupakan anak bungsu dari 3 bersaudara. Penulis melewati masa kecil tepatnya di Desa Kampung Baru, Kabupaten Sumenep dengan menempuh pendidikan di SDN Pangarangan 1 Sumenep, kemudian SMPN 1 Sumenep. Kemudian melanjutkan studi di SMAN 1 Sumenep yang kemudian dilanjutkan ke ITS Jurusan Teknik Fisika pada tahun 2012 dengan NRP 2412100097. Penulis merupakan pemenang medali emas katagori presentasi di PIMNAS XXVI, finalis di PIMNAS XXVII dan pemenang medali emas kategori poster di PIMNAS XXVIII. Penulis juga telah melakukan publikasi ilmiah di tingkat internasional maupun nasional, yaitu pada conference ICAST 2015 dengan judul “*Analysis Influence Of Three Dispersant Types To The Stability Of Photocatalyst And Agglomeration Of TiO_2 Nanoparticles As The Optimization Of Dirt Free Paint*” dan pada seminar SNAFT 2014 dengan judul Pengaruh Dispersant Polietilen Glikol dan Triton X 100 terhadap Stabilitas Fotokatalis dan Aglomeritas Suspensi Nanopartikel TiO_2 dalam *Dirt-Free Paint*”. Hingga pada tahun 2016 penulis akhirnya melaksanakan Tugas Akhir sebagai syarat untuk menyelesaikan studi S1 di Jurusan Teknik Fisika dengan judul “Pengaruh Komposisi *Dispersant* Peg6000 Dan TiO_2 Terhadap Kemampuan *Self Cleaning* Cat Tembok Batu Gamping”. Bagi pembaca yang memiliki saran, kritik, atau ingin berdiskusi lebih lanjut tentang Tugas Akhir ini, maka bisa menghubungi penulis melalui nomor (087850206120) atau nurfadhilah321@gmail.com